

## Paleoecología del Cuaternario Tardío en la Laguna de Ballona en el sur de California

### Late Quaternary palaeoecology of Ballona Lagoon in southern California

MR Palacios-Fest<sup>1</sup>, JA Homburg<sup>2</sup>, EC Brevik<sup>3</sup>, AR Orme<sup>4</sup>, OK Davis<sup>5</sup>, SD Shelley<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Terra Nostra Earth Sciences Research, 6312 N Barcelona Ln # 606, Tucson, Arizona 85704 USA.

E-mail: terra\_nostra\_mx@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Statistical Research, Inc., PO Box 31865, Tucson, Arizona 85751-1865, USA.

<sup>3</sup> Department of Physics, Astronomy, and Geosciences, Valdosta State University, Valdosta, Georgia 31698, USA.

<sup>4</sup> Department of Geography, UCLA, Los Angeles, California 90024-1524, USA.

<sup>5</sup> Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA.

#### Resumen

Los ambientes costeros del Cuaternario, incluyendo a los estuarios, son de gran importancia para los arqueólogos, geólogos y paleoecólogos debido a los dramáticos cambios en la geografía costera que afectan seriamente la adaptación humana y el uso de los recursos. Los estuarios son afectados principalmente por agentes climáticos y geológicos tales como tectonismo, subsidencia y cambios en el nivel del mar tanto isostáticos como eustáticos. En el presente estudio de la Laguna de Ballona, localizada en el área metropolitana de Los Ángeles, California, documentamos la reconstrucción ambiental del estuario que la formó. Los estuarios se caracterizan por una rica biota que incluye una diversidad de peces, ostrácodos, moluscos, foraminíferos, organismos silíceos (diatomeas y silicoflagelados), así como residuos de vegetación representada por los palinomorfos. Analizamos los ostrácodos y palinomorfos en combinación con análisis estratigráficos y geocronométricos del área de estudio. El objetivo central del estudio fue delinear los bordes de la laguna y documentar su migración en el tiempo. La identificación de los bordes de la laguna fue importante para determinar la forma y razones de cambio de uso del área a través del tiempo por los pobladores prehistóricos.

*Palabras clave:* ostrácodos, polen, cambio ambiental y adaptación humana.

#### Abstract

Quaternary coastal environments, including estuaries, are significant to archaeologists, geologists, and palaeoecologists because dramatic changes in geographic settings have strongly affected human land use and adaptation. Estuaries are mainly affected by climate and geologic agents like tectonism, subsidence, and isostatic and eustatic sea level changes. This study of Ballona Lagoon, California, located in the Los Angeles metropolitan area, presents the paleoenvironmental reconstruction of an estuary. Estuaries are characterized by diverse assemblages of fishes, ostracodes, molluscs, foraminifers, siliceous organisms (diatoms and silicoflagellates), and traces of vegetation represented by palynomorphs. Ostracode and pollen analyses were conducted in combination with stratigraphic and geochronometric analyses. A central goal of this study was to delineate the lagoon edge and to document how it migrated through time. The location of the lagoon edge was important in determining how and why prehistoric land-use patterns shifted through time.

*Key words:* ostracodes, pollen, environmental change and human adaptation.

#### Introducción

Los estuarios proporcionan una fuente de información única acerca de los ciclos marinos y continentales en el corto (e.g., estacionalidad, actividad humana) y en el largo plazo (e.g., cambios eustáticos o isostáticos en el nivel del mar) que afectan la adaptación humana. La sedimentación en los estuarios está influenciada por la compleja combinación de corrientes de mareas, oleaje oceánico, oleaje local, descargas fluviales, precipitación, temperatura y la flora y fauna locales (Clifton 1982). De igual importancia son los agentes geológicos tales como tectonismo, subsidencia, cambios eustáticos e isostáticos en el nivel del mar, cambio climático y las

#### Introduction

Estuaries provide a unique source of information about short- (e.g., seasonality, human activity) and long-term (e.g., isostatic or eustatic sea level changes) continental and marine cycles that have affected human adaptation. Sedimentation in estuaries is influenced by a complex combination of tidal currents, oceanic waves, locally generated waves, river discharge, precipitation, temperature, and local flora and fauna (Clifton 1982). Also important are geologic agents like tectonism, subsidence, isostatic and eustatic changes of sea level, climate change, and human activities that have altered the hydrology, drainage and topography.

actividades humanas que han alterado hidrología, drenaje y topografía.

En los estuarios sucede una mezcla de flora y fauna marina y continental. La mayoría de los organismos marinos no sobreviven en medios acuáticos continentales. De la misma forma, los organismos de agua dulce raramente penetran al medio marino. Sólo un reducido grupo de organismos persiste en ambientes de transición como los estuarios. Entre los organismos comunes en los estuarios se encuentran los ostrácodos (microcrustáceos) y palinómorfos (polen y esporas) representados tanto por especies marinas como continentales. Su conducta, aparición y desaparición en el registro geológico es crítico en la interpretación y reconstrucción del cambio paleoambiental. La mayoría de las especies están limitadas a ambientes específicos pero algunas son capaces de tolerar o inclusive adaptarse a otros ambientes. Varias especies son características de ambientes salobres aunque la mayoría viven en sistemas marinos o dulceacuícolas. La vegetación estuarina incluye algas y plantas acuáticas y terrestres ribereñas. La aparición alternante de microfósiles que representan los ambientes marino, salobre y dulceacuícola en el registro geológico nos permite la reconstrucción de la alternancia ambiental a través del tiempo mediante el control cronométrico de los fechamientos por radiocarbono.

Los objetivos principales de este estudio fueron: (1) compilar los datos de abundancia y diversidad de ostrácodos y polen, y (2) usar estos datos para reconstruir las condiciones paleoambientales del Holoceno en la Laguna de Ballona. Los análisis paleoecológicos presentados en este estudio fueron conducidos en apoyo al Proyecto Arqueológico e Histórico en Playa Vista de Statistical Research, Inc. El estudio estuvo enfocado en la reconstrucción de los efectos que los cambios ambientales tuvieron sobre los asentamientos humanos y el uso del suelo.

### **Localización y características ambientales de la Laguna de Ballona**

El área de estudio se localiza en los 33°55' N y 118°35' W, al sur de Marina del Rey, norte de Westchester y oriente de Playa del Rey y la Bahía de Santa Mónica, en el área metropolitana de Los Ángeles, California (fig. 1). Incluye asentamientos humanos prehistóricos e históricos concentrados a lo largo del Escarpe de Ballona, cerca de la laguna del mismo nombre. Su clima se clasifica como mediterráneo, con inviernos húmedos y templados, y veranos moderadamente secos (Altschul *et al.* 1992a). La temperatura media anual registrada en el Aeropuerto Internacional de Los Ángeles (LAX), aproximadamente 5 km al sur, es de 20°C, y oscila entre un mínimo de 5°C y un máximo de 32°C.

El área de estudio se encuentra limitada entre los Acantilados de Ballona y las Colinas del Rey por el suroeste y por los acantilados oceánicos de Santa Mónica por el noroeste. La Cuenca de Ballona al oriente contuvo una laguna salobre que fue casi totalmente destruida a principios de los años treinta cuando el US Army Corps of Engineers canalizó al Arroyo

A mix of marine and continental flora and fauna occurs in estuaries. Most marine organisms do not live in continental aquatic environments and fresh-water organisms are "rarely" present in marine conditions, but only a few groups persist in transitional environments like estuaries. Among the fauna and flora found in estuaries, ostracodes (microcrustaceans) and palynomorphs (pollen and spores) are represented by both marine and nonmarine species. Their behavior, appearance, and disappearance in the geologic record is crucial for interpreting and reconstructing palaeoenvironmental change. Most species are limited to a specific environment but a few are able to tolerate or even thrive in other environments. Several species are typical of brackish-water environments and most live in marine- or fresh-water habitats. Estuarine plants and algae include terrestrial and aquatic marine and nonmarine forms. Alternating occurrences of microfossils representing marine, brackish, and fresh water in the stratigraphic record allow us to reconstruct alternating environments with the chronometric control provided by radiocarbon dating.

The main objectives of this study were to: (1) compile abundance and diversity data for ostracodes and pollen, and (2) use these data to reconstruct Holocene palaeoenvironmental conditions in Ballona Lagoon. The palaeoecological analyses presented in this study were conducted in support of the Playa Vista Archaeological and Historical Project by Statistical Research, Inc., focusing on reconstructing the effect of environmental changes on human settlement and land use.

### **Environmental setting of Ballona Lagoon**

The project area is located at 33°55' N and 118°35' W, south of Marina del Rey, north of Westchester, and east of Playa del Rey and Santa Monica Bay in the Los Angeles metropolitan area (fig. 1). It contains prehistoric and historical settlements concentrated near Ballona Lagoon and along the Ballona Escarpment. The climate is classified as Mediterranean, with a temperate wet winter and a moderate dry summer (Altschul *et al.* 1992a). Mean annual temperature is 20°C at the Los Angeles International Airport (LAX) about 3 km to the south, though it ranges from a mean minimum of 5°C to a mean maximum of 32°C.

The study area is between the Ballona Bluffs and the Del Rey Hills to the southeast and the ocean bluffs of Santa Monica to the northwest. The Ballona Gap to the east held a brackish lagoon that was nearly destroyed in the early 1930s when the US Army Corps of Engineers channeled Ballona Creek and constructed a concrete revetment. Further destruction occurred when Howard Hughes filled in low spots in the Ballona Wetlands in the 1940s and 1950s, followed by construction of Marina del Rey in the early 1960s, one of the largest artificial marinas in the world (Altschul *et al.* 1992a, b). Construction of the marina, channelization of Ballona Creek, and several earth-moving projects associated with the development of the Hughes complex, have dramatically altered the elevation and hydrology of Ballona Lagoon. Before these recent

Centinela y construyó un muro de contención de concreto. Una nueva etapa destructiva tuvo lugar cuando Howard Hughes rellenó los bajos en los Humedales de Ballona en los años cuarenta y cincuenta, a la que siguió la construcción de Marina del Rey a principios de los sesenta, una de las marinas artificiales más grandes del mundo (Altschul *et al.* 1992a, b). La construcción de la marina, canalización del Arroyo Ballona y los diversos proyectos de remoción de tierra asociados al desarrollo del complejo Hughes, han alterado dramáticamente la elevación e hidrología de esta laguna. Antes de la urbanización reciente la Laguna de Ballona estaba delineada principalmente por la hidrología y tectónica locales. Grant y Sheppard (1939) sugirieron que el agudo acantilado al sur de la laguna se formó como resultado de tectonismo a lo largo de la línea de falla, la migración lateral del ancestral Río Los Ángeles durante el Pleistoceno, o ambas.

Davies (1973) sugirió que la Laguna de Ballona era una laguna estuarina antes de la urbanización moderna y que, probablemente, evolucionó a partir de una laguna marina que existió antes del año 1000 DC (Van Horn y Murray 1985). Se han identificado tres microambientes en el área de la Laguna de Ballona (Altschul *et al.* 1992b): (1) altas planicies de marea que consisten en pantanos salinos dominados por varias especies halotolerantes como *Salicornia* sp. y los pastos salinos *Distichlis spicata*; (2) pendientes de marea, caracterizadas por planicies lodosas propicias a la colonización por moluscos; y (3) estuarios en las bocas de los arroyos Ballona y Centinela, poblados por comunidades ribereñas de sauces (*Salix lasiolepis* y *S. laevigata*) y álamos (*Populus tremondii*).

## Materiales y métodos

Entre 1995 y 1999 se recolectaron núcleos de hasta 18 m de longitud a lo largo del área de estudio orientados en transectos este-oeste y norte-sur dentro del área de la Laguna de Ballona (fig. 1). Todos los núcleos, excepto uno (núcleo 11), fueron extraídos usando un nucleador tipo *hollow-stem auger*. Para el estudio de microfósiles (ostrácodos y palinómorfos) se seleccionaron tres núcleos (1, 8 y 11). El núcleo 1 fue extraído de la margen occidental de la actual Laguna de Ballona, al oeste de las dunas de Playa del Rey; el núcleo 8 fue recolectado al este de la laguna; y el núcleo 11 fue recolectado utilizando un nucleador de pistón manual aproximadamente a 300 m al este del núcleo 1 en el actual pantano de mareas.

Se emplearon técnicas micropaleontológicas de rutina para extraer los ostrácodos (Forester 1988, Palacios-Fest 1994) y los palinómorfos (Faegri e Iversen 1975). Las muestras micropaleontológicas fueron recolectadas a intervalos de 20 cm pero ocasionalmente el intervalo se redujo a 10 cm. Todas las muestras de polen fueron recolectadas a intervalos de 10 cm. Para estimar la abundancia de microfósiles se utilizó la escala relativa siguiente: “extremadamente abundante” (>1001), “muy abundante” (>501<1000), “abundante” (>101<500), “moderadamente abundante” (>51<100), “común” (>21<50), “raro” (>6<20), y “extremadamente raro” (<5).

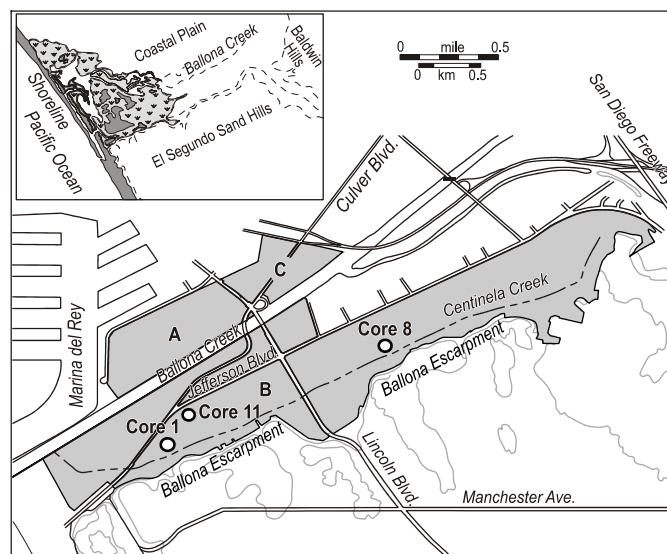


Figura 1. Localización de la Laguna de Ballona dentro del área del proyecto Playa Vista, incluyendo los sitios de la obtención de núcleos.

Figure 1. Location map of Ballona Lagoon in the Playa Vista project area showing coring stations.

developments, Ballona Lagoon was shaped mainly by local hydrology and tectonics. Grant and Sheppard (1939) suggested that the steep escarpment south of the lagoon was the result of tectonism along a fault line, lateral migration of the ancestral Los Angeles River during the Pleistocene, or both.

Davies (1973) suggested that Ballona Lagoon was an estuarine lagoon prior to modern development, and that it probably evolved from a marine lagoon that existed before AD 1000 (Van Horn and Murray 1985). Three microenvironments have been identified in the Ballona Lagoon area (Altschul *et al.* 1992b): (1) high tidal flats, consisting of salt marshes dominated by several species of pickleweed (*Salicornia* sp.) and salt grass (*Distichlis spicata*); (2) tidal slopes, characterized by mudflats conducive to colonization by shellfish; and (3) estuaries at the mouths of the Ballona and Centinela Creeks, marked by a riparian community of willows (*Salix lasiolepis* and *S. laevigata*) and cottonwood (*Populus tremondii*).

## Material and methods

Between 1995 and 1999 cores up to 18 m in depth were taken across roughly west-east and north-south transects in the Ballona Lagoon area (fig. 1). All but one of these cores (11) was extracted using a hollow-stem auger. Three cores (1, 8, and 11) were analyzed for microfossils (ostracodes and palynomorphs). Core 1 was recovered from the western edge of the current Ballona Lagoon, west of dunes at Playa del Rey; core 8 was collected east of the lagoon; and core 11 was collected using a hand-piston core, about 300 m east of core 1 in the active tidal marsh.

### Geochronology

El control cronométrico fue establecido mediante fechamientos convencionales de radiocarbono de 24 muestras de carbón, madera, materia orgánica en sedimentos y conchas de moluscos, incluyendo 11 fechas provenientes de los núcleos 1B y 8 en los que se centraron los análisis micropaleontológicos. Además, se obtuvo un fechamiento por AMS en una muestra del núcleo 8.

### Ostrácodos

Los ostrácodos fueron extraídos de los núcleos 1, 8 y 11. En total se utilizaron 167 muestras de 5 cm<sup>3</sup> que fueron procesadas mediante la técnica de congelamiento y descongelamiento y posteriormente fueron lavadas en tamices con abertura de malla de 106 y 63 μm para recuperar las valvas de ostrácodos (Forester 1988, Palacios-Fest 1994). Los residuos de los sedimentos recuperados en los tamices fueron examinados utilizando un microscopio estereoscópico de baja resolución. Las muestras fueron analizadas siguiendo procedimientos de rutina micropaleontológica para determinar el contenido fosilífero y la composición faunística en cada caso. A partir de estos análisis se establecieron asociaciones paleoecológicas de ostrácodos que a su vez fueron agrupadas de acuerdo con la abundancia de las especies siguiendo los procedimientos de Benson (1959), McKenzie y Swain (1967) y Delorme (1969, 1989).

Las características tafonómicas de las especies fueron utilizadas para reconocer poblaciones alóctonas (transportadas o introducidas de alguna manera) de las autóctonas (locales, *in situ*). La fragmentación, abrasión, incrustamiento y recubrimiento de las valvas de ostrácodos fueron registradas durante el análisis microscópico. Además, se registraron las relaciones adulto/juvenil (A/J) y caparazón/valva (C/V) de los ostrácodos para determinar el origen de la población.

Utilizamos a los ostrácodos para reconstruir la historia del Cuaternario tardío de la Laguna de Ballona basados en el cálculo de cambio ambiental cualitativo. A cada conjunto se asignó un valor relativo que osciló entre -2 (dulceacuícola) a +2 (marino), basados en el peso medio de cada conjunto determinado por la ecuación del índice de salinidad (SI):

$$SI = -2 (\% \text{ promedio del conjunto dulceacuícola}) + (\% \text{ promedio del conjunto salobre}) - (\% \text{ promedio del conjunto transicional}) + 2 (\% \text{ promedio del conjunto marino})$$

cuyo valor negativo indica aguas diluidas, cero indica aguas salobres y el valor positivo indica aguas salinas entre las condiciones transicional y marina.

Los valores obtenidos de los conjuntos faunísticos indican sus rangos de tolerancia a la salinidad. Los valores más negativos indican una menor tolerancia a la salinidad, en tanto que, los valores más positivos indican mayor tolerancia.

Routine micropalaeontological techniques were used to extract ostracodes (Forester 1988, Palacios-Fest 1994) and palynomorphs (Faegri and Iversen 1975). Micropalaeontological samples were collected at 20-cm intervals, with occasional samples from 10-cm intervals. All pollen samples were obtained at 10-cm intervals. Microfossils were classified according to the following relative abundance scale: "extremely abundant" (>1001), "very abundant" (>501<1000), "abundant" (>101<500), "moderately abundant" (>51<100), "common" (>21<50), "rare" (>6<20), and "extremely rare" (<5).

### Geochronology

Chronometric control was based on 24 conventional radiocarbon dates of charcoal, wood, organic matter in bulk sediments, and mollusc shells, including 11 dates from cores 1B and 8 where the micropalaeontological analyses were focused. In addition, one AMS radiocarbon date was obtained from core 8.

### Ostracodes

Ostracodes were obtained from cores 1, 8, and 11. In all, 167 5-cm<sup>3</sup> samples were processed using a freeze-and-thaw technique and then wet-sieved through 106- and 63-μm mesh sieves to recover ostracodes for analysis (Forester 1988, Palacios-Fest 1994). Residues were examined under a low power stereoscopic microscope. Routine micropalaeontological analysis was performed to determine fossil content and faunal composition. Ostracode palaeoecological assemblages were defined and grouped according to species abundance, following Benson (1959), McKenzie and Swain (1967), and Delorme (1969, 1989).

Taphonomic features were used to distinguish allochthonous (transported or somehow introduced) from autochthonous (local, *in situ*) populations. Fragmentation, abrasion, encrustation, and coatings were recorded in the ostracode analysis. In addition, the adult/juvenile and carapace/valve ratios of ostracodes were recorded.

We used ostracodes to reconstruct the late Quaternary history of Ballona Lagoon, based on a qualitative assessment of environmental change. Each assemblage was assigned a relative value ranging from -2 (fresh water) to +2 (marine), based on the weighed average of each assemblage as determined by the salinity index (SI) equation:

$$SI = -2 (\text{mean \% from fresh-water assemblage}) + (\text{mean \% from brackish-water assemblage}) - (\text{mean \% from transitional assemblage}) + 2 (\text{mean \% from marine assemblage})$$

where a negative value indicates dilute water, zero indicates brackish water, and a positive value represents the range between the transitional to open marine conditions.

### Palinología

Aproximadamente de 1 a 5 cm<sup>3</sup> de sedimentos fueron procesados de 389 muestras procedentes de los núcleos 1, 8 y 11. Se utilizaron procedimientos de rutina para la digestión de las muestras (Faegri e Iversen 1975). Cuando fue posible, se contaron cerca de 300 granos de polen de plantas terrestres por muestra, pero en muestras pobres se contaron por lo menos 200 (Campbell y Campbell 1994). La suma de los granos de polen fue utilizada para cuantificar los porcentajes de los tipos de polen y los porcentajes de esporas y otros microfósiles. La concentración de polen fue calculada a partir de la suma de polen como un indicador de preservación y de las tasas de sedimentación. Por ejemplo, las concentraciones bajas combinadas con preservación pobre podría indicar el deterioro post-deposicional de los granos de polen, lo que haría cuestionable la interpretación del polen. En contraste, buena preservación y baja concentración podrían ser resultado de una sedimentación rápida. La gran abundancia de polen acuático, como *Typha* y *Ruppia*, indica la presencia de condiciones dulceacuícolas.

### Resultados

#### Geocronología

En la tabla 1 se presentan las edades de radiocarbono convencionales y calibradas por dendrología; se eligió utilizar en el texto las edades convencionales, no corregidas (debido al efecto de reservorio), o las dendrocalibradas para mantener la consistencia entre los datos. El núcleo 1B (extraído en reemplazo del núcleo 1 que fue perdido) nos proporcionó cuatro edades de radiocarbono. La edad más reciente fue obtenida a aproximadamente 0.4 m de profundidad a partir de un fragmento de carbón. Esta muestra fue fechada a  $730 \pm 60$  AP, en tanto que la fecha más antigua fue obtenida a una profundidad de 4.8–4.9 m a partir de un fragmento de ostión que dió una edad de  $6220 \pm 80$  AP. Los rangos de las tasas de sedimentación oscilaron entre los 0.3 mm año<sup>-1</sup> durante el estadio de pantano salina a 1.1 mm año<sup>-1</sup> al borde externo de la laguna y 0.9 mm año<sup>-1</sup> cuando prevalecieron condiciones lagunares (tabla 2, fig. 2).

Del núcleo 8 se obtuvieron siete edades de radiocarbono. Se utilizaron edades no calibradas que oscilaron entre  $1070 \pm 100$  AP y  $20,800 \pm 110$  AP para calcular las tasas de sedimentación en la parte oriental de la laguna (fig. 3). La edad obtenida a partir de materia orgánica a una profundidad de 8.3–8.4 m fue descartada dado que resultó muy antigua comparada con las muestras inmediata superior e inferior. Las tasas de sedimentación fluctuaron entre los 0.3 y 2.6 mm año<sup>-1</sup> durante los diferentes estadios de la laguna registrados en el núcleo 8 (tabla 2).

#### Ostrácodos

De las 167 muestras analizadas 113 fueron fosilíferas. En la figura 4 se muestran los patrones de salinidad a través del

The assemblage values obtained indicate the range in tolerance to salinity. Increasingly negative values indicate lower tolerance to salinity and increasingly positive values indicate higher tolerances.

### Palynology

Approximately 1 to 5 cm<sup>3</sup> of sediment was processed from 389 samples from cores 1, 8, and 11 by routine acid digestion (Faegri and Iversen 1975). About 300 pollen grains of upland plants were counted per sample; when possible, at least 200 grains were counted (for poor samples) (Campbell and Campbell 1994). The pollen sum was used in quantifying the percentages of pollen types, and for percentages of spores and other microfossils. The pollen concentration was calculated for the pollen sum as an index of preservation and the sedimentation rate. For example, low concentration combined with poor preservation may indicate post-depositional deterioration of pollen, thereby making pollen interpretations questionable. In contrast, good preservation and low concentration might result from rapid sedimentation. High abundance of aquatic pollen, like *Typha* and *Ruppia*, indicates fresh-water conditions.

### Results

#### Geochronology

The conventional and dendrocalibrated radiocarbon ages are summarized in table 1; we chose to use the conventional, not the corrected (for reservoir effect) or dendrocalibrated dates in the text for consistency among the data. Core 1B (a replacement core for the lost core 1) yielded four radiocarbon dates. The youngest, at a depth of 0.4 m from a fragment of charcoal, was dated at  $730 \pm 60$  BP, and the oldest, at a depth of 4.8–4.9 m from an oyster fragment, yielded a date of  $6220 \pm 80$  BP. Sedimentation rates ranged from 0.3 mm yr<sup>-1</sup> during the salt marsh stage to 1.1 mm yr<sup>-1</sup> at the lagoon edge, and 0.9 mm yr<sup>-1</sup> when lagoonal conditions prevailed (table 2, fig. 2).

Seven radiocarbon dates were obtained from core 8. Uncalibrated ages between  $1070 \pm 100$  BP and  $20,800 \pm 110$  BP were used to determine sedimentation rates throughout the record (fig. 3). The age obtained from organic sediment at 8.3–8.4 m depth was too old compared to overlying and underlying samples; thus, it was omitted in calculating sedimentation rates. Sedimentation rates ranged from 0.3 to 2.6 mm yr<sup>-1</sup> during different stages of the lagoon represented in core 8 (table 2).

#### Ostracodes

Of the 167 samples analyzed, 113 were fossiliferous. Temporal trends in salinity are summarized in figure 4 for ostracodes. Highly diverse and “abundant” ostracode faunas were recorded throughout cores 1, 8, and 11. Taphonomic

Table 1. Edades de radiocarbono convencionales y rangos de edades calibradas para el estudio paleoambiental de la Laguna de Ballona. Table 1. Conventional and calibrated age ranges for the paleoenvironmental study of Ballona Lagoon.

Core #	Depth below surface (m)	Elevation (msl for top of sample)	Material dated	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	Radiocarbon age (years BP $\pm 1\sigma$ )*	Calibrated age(s) obtained from intercepts (cal AD/BC ranges for $2\sigma$ )**	Lab #
1B	0.43	-0.32	Charcoal	-27.2	730 $\pm$ 60	AD 1195 (1282) 1391	Beta-131129
1B	0.84	-0.73	Charcoal	-25.2	1,980 $\pm$ 60	BC 153 (AD 25, 43, 47) AD 131	Beta-131130
1B	1.69	-1.58	California horn snail ( <i>Cerithidea californica</i> )	-2.7	2,740 $\pm$ 40	BC 996 (896, 875, 862, 847, 845) 808	Beta-131131
1B	4.83-4.88	-4.72	Native Pacific oyster ( <i>Ostrea lurida</i> )	+1.5	6,220 $\pm$ 80	BC 5359 (5228, 5223, 5210, 5161, 5148) 4863	Beta-131132
8	3.67-3.73	0.27	Organic sediments	-25.0	1,070 $\pm$ 100	AD 694 (984) 1206	Beta-85584
8	6.60-6.65	-2.66	California horn snail	-2.1	4,610 $\pm$ 100	BC 3638 (3366) 3024	Beta-87297
8	8.31-8.40	-4.37	Organic sediments	-26.2	6,340 $\pm$ 40	BC 5462 (5316) 5213	Beta-85914
8	9.73	-5.79	Charcoal	-26.0	5,820 $\pm$ 60	BC 4829 (4707, 4702, 4692) 4503	Beta-85915
8	11.10-11.17	-7.16	Organic sediments	-25.0	6,580 $\pm$ 70	BC 5635 (5512, 5498, 5485) 5380	Beta-85916
8	15.03-15.10	-11.09	Organic sediments	-26.7	11,140 $\pm$ 60	BC 11419 (11193) 10943	Beta-85917
8	18.26-18.29	-14.32	Organic sediments	-25.1	20,800 $\pm$ 110	Invalid age for this calibration data	Beta-85583
25	6.65	-1.30	Wood	-28.3	3,480 $\pm$ 70	BC 2009 (1859, 1845, 1771) 1621	Beta-131133
25	8.05	-2.70	Charcoal	-30.8	4,060 $\pm$ 80	BC 2879 (2615, 2615, 2578) 2352	Beta-131134
25	8.90	-3.55	Charcoal	-28.5	4,610 $\pm$ 60	BC 3619 (3366) 3102	Beta-131135
25	9.57	-4.22	Charcoal	-28.9	4,830 $\pm$ 60	BC 3708 (3641) 3384	Beta-131136
43	4.17-4.30	-1.36	California horn snail	-0.5	4,380 $\pm$ 60	BC 3328 (3012, 2983, 2956, 2954, 2925) 2884	Beta-124363
43	9.95-9.98	-7.14	California Venus clam ( <i>Chione</i> sp.)	-2.4	7,520 $\pm$ 90	BC 6499 (6401) 6164	Beta-124364
61	4.32-4.57	-1.63	California horn snail	-5.7	4,670 $\pm$ 60	BC 3635 (3499, 3457, 3435, 3377) 3348	Beta-124365
61	4.74-4.80	-2.05	California horn snail	-0.8	4,900 $\pm$ 140	BC 3977 (3660) 3368	Beta-124366
61	11.89-11.92	-9.20	Peat	-24.8	15,640 $\pm$ 50	BC 17341 (16728) 16180	Beta-124367
100	4.60-4.75	-1.13	California horn snail	-2.9	3,960 $\pm$ 60	BC 2619 (2468) 2290	Beta-124368
100	5.08-5.13	-1.61	Native Pacific oyster	-2.5	4,790 $\pm$ 120	BC 3889 (3635, 3553, 3542) 3348	Beta-124369
100	5.27-5.30	-1.80	Native Pacific oyster	-0.2	4,790 $\pm$ 60	BC 3693 (3635, 3553, 3542) 3377	Beta-124370
100	14.16-14.37	-10.69	Wood	-25.7	14,770 $\pm$ 120	BC 16338 (15727) 15173	Beta-124371

\* Uncalibrated radiocarbon ages have been corrected for isotope fractionation using the  $\delta^{13}\text{C}$  values.

\*\* Radiocarbon ages were calibrated using the CALIB 4.3 program (Stuiver and Reimer 1993). Calibrated age ranges were obtained from intercepts (Method A, with one or more intercepts between the conventional radiocarbon age and the dendrocalibrated calendar time scale curve placed in parentheses between the  $2\sigma$  age range) and from the probability distribution (Method B, with the probability in parentheses after each range). References for calibration datasets: (1) Stuiver et al. 1998a, (2) M Stuiver et al. 1998b (revised dataset). Shell samples are from aquatic systems dominated by brackish water and the percentages of marine and terrestrial carbon are not known, so no reservoir effect correction was made.

**Tabla 2.** Tasas de sedimentación en el área del proyecto de la Laguna de Ballona.  
**Table 2.** Sedimentation rates for the Ballona Lagoon project area.

Core	Interval (m)	Vertical distance (mm)	Time interval (yrs)	Time (yrs)	Sedimentation rate (mm yr <sup>-1</sup> )	Dominant environment
1B	0.84–0.043	410	1980–730	1250	0.3	Salt marsh
1B	1.69–0.84	850	2740–1980	760	1.1	Lagoon edge
1B	4.86–1.69	3170	6220–2740	3480	0.9	Lagoon
8	6.63–3.70	2930	4610–1070	3540	0.8	Lagoon
8	9.73–6.63	3100	5820–4610	1210	2.6	Lagoon
8	11.14–9.73	1410	6580–5820	760	1.9	Marsh
8	15.07–11.14	3930	11140–6580	4560	0.9	Marsh
8	18.28–15.07	3210	20800–11140	9660	0.3	Marsh
25	8.05–6.665	1400	4060–3480	580	2.4	Lagoon/eolian
25	8.99–8.05	940	4610–4060	550	1.7	Salt marsh
25	9.57–8.05	580	4830–4610	220	2.6	Alluvium
43	9.97–4.24	5730	7520–4380	3140	1.8	Lagoon edge
61	4.77–4.45	320	4900–4670	230	1.4	Lagoon edge
61	11.91–4.77	7140	15640–4900	10740	0.7	Marsh
100	5.29–4.68	610	4790–3960	830	0.7	Lagoon edge
100	14.27–5.29	8980	14770–4790	9980	0.9	Marsh/eolian/lagoon edge

tiempo. Los ostrácodos fueron muy abundantes y diversos en los tres núcleos (1, 8, 11). Los parámetros tafonómicos (fragmentación, abrasión, incrustamiento, recubrimiento y los radios de madurez y articulación de las valvas) nos permitieron reconstruir la historia de cambio ambiental en la laguna. Cuarenta y ocho muestras contuvieron menos de 100 ejemplares por muestra; el resto osciló entre “abundante” y “extremadamente abundante” (e.g., 101–1001). Se han reportado valores de abundancia similares a lo largo de la costa del Pacífico desde Alaska hasta Nicaragua (e.g., Benson 1959, Benson y Kaesler 1963, Swain 1967, Swain y Gilby 1967, Forester y Brouwers 1982).

En total se identificaron 39 especies de ostrácodos. El conjunto faunístico estuvo dominado por *Cyprideis beaenensis*, *C. salebrosa*, *Cypridopsis vidua* y *Limnocythere staplini*. Con base en los criterios establecidos en estudios de varios autores (Marinov 1964 en Puri 1969, Benson 1959, Benson y Kaesler 1963, Swain 1967, McKenzie y Swain 1967) identificamos cuatro conjuntos faunísticos: (1) un conjunto de agua dulce constituido por especies comunes en aguas continentales caracterizadas por una amplia tolerancia a la salinidad; (2) un conjunto de aguas salobres compuesto por especies que habitan lagos salinos y estuarios con afinidad a las especies continentales; (3) un conjunto transicional de especies marinas con tolerancia a un amplio margen de salinidad pero incapaces de tolerar condiciones dulceacuólicas por periodos prolongados; y (4) un conjunto marino formado estrictamente por especies marinas incapaces de tolerar condiciones salobres (tabla 3, fig. 4).

parameters (fragmentation, abrasion, incrustation, coating, adulthood, and disarticulation ratios) allowed us to reconstruct the history of environmental change. Forty-eight samples contained less than 100 specimens per sample, and the rest ranged from “abundant” to “extremely abundant” (i.e., 101–1001). Similar abundance values have been reported elsewhere along the Pacific coast from Alaska to Nicaragua (e.g., Benson 1959, Benson and Kaesler 1963, Swain 1967, Swain and Gilby 1967, Forester and Brouwers 1982).

In all, 39 ostracode species were identified. The assemblage was dominated by *Cyprideis beaenensis*, *C. salebrosa*, *Cypridopsis vidua*, and *Limnocythere staplini*. Based on criteria provided in studies by Benson (1959), Benson and Kaesler (1963), Marinov (1964, in Puri *et al.* 1969), Swain (1967) and McKenzie and Swain (1967), we identified four types of assemblages: (1) a fresh-water assemblage, consisting of species common in continental waters with a wide salinity range tolerance; (2) a brackish-water assemblage, consisting of species that occur in saline lakes and estuaries with nonmarine affinities; (3) a transitional assemblage of marine species tolerant of a wide salinity range, but unable to tolerate fresh water for long periods; and (4) a marine assemblage formed of strictly marine species unable to tolerate brackish-water conditions (table 3, fig. 4).

Core 1, the westernmost core, contained a highly diverse and rich fauna. The upper 0.5 m was not analyzed because it was artificial fill. The uppermost fossiliferous sample occurred at 0.6 m. Ostracodes were recovered throughout most of the stratigraphic column to a depth of 7.4 m. Ostracodes were

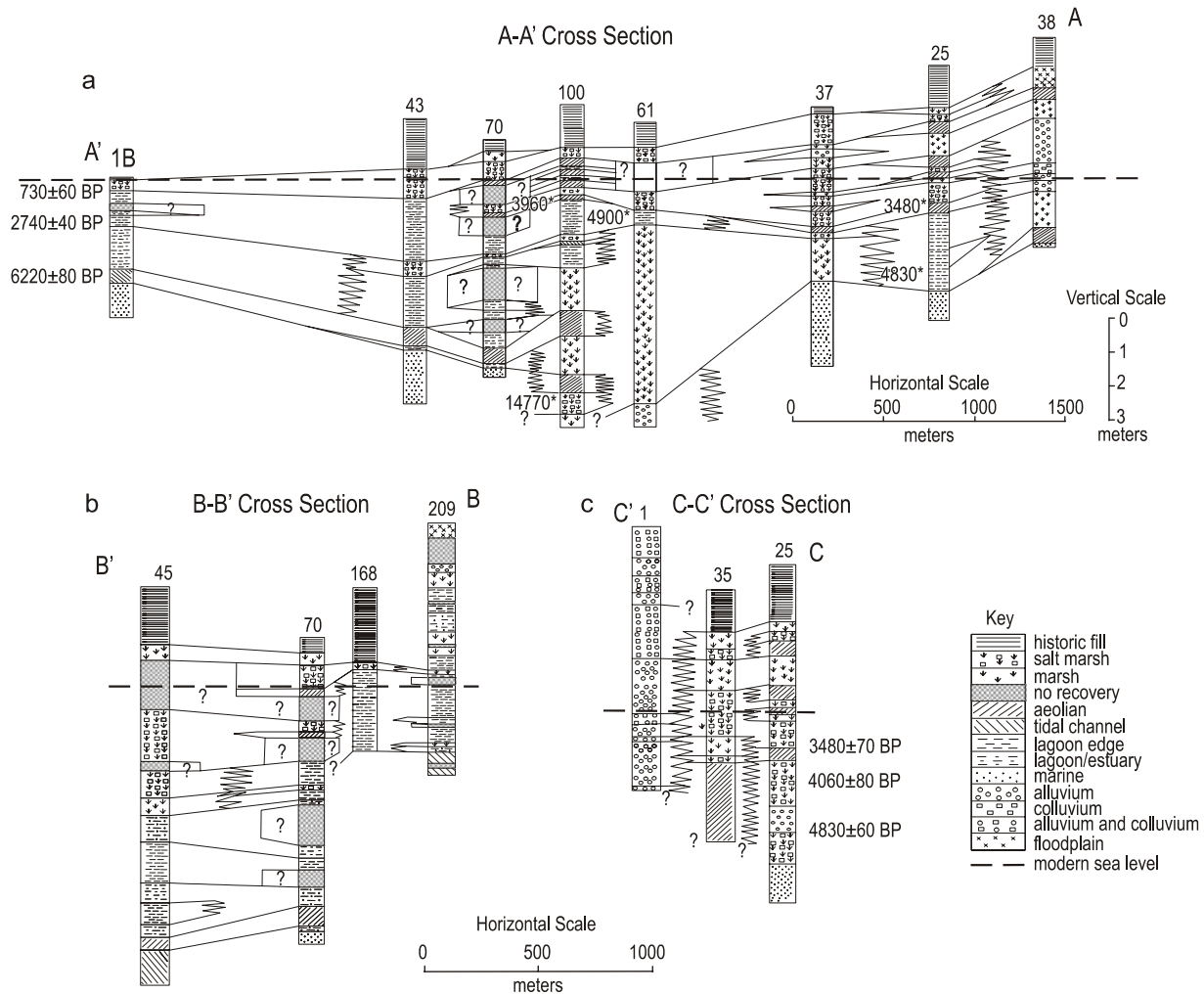


Figura 2. Sección transversal de los núcleos obtenidos mostrando la litología general y su distribución a través del área de estudio: (a) transecto A-A', (b) transecto B-B', y (c) transecto C-C'.

Figure 2. Cross-sections of cores showing the general lithology and distribution across the study area: (a) transect A-A', (b) transect B-B', and (c) transect C-C'.

El núcleo 1, el más occidental de los tres, contuvo la fauna más diversa y abundante. Los 0.5 m superiores no fueron analizados porque consistían de relleno artificial. A los 0.6 m apareció la primera muestra fosilífera. De los 7.4 m y hasta los 15.2 m, los ostrácodos estuvieron presentes sólo esporádicamente. Sólo dos intervalos en ese tramo contuvieron “abundantes” organismos (a los 12.0 y 13.8 m), ambos dominados por especies salobres y marinas. Estuvieron representadas 25 especies de ostrácodos, oscilando entre especies dulceacuícolas y marinas; sin embargo, la población estuvo dominada por especies salobres. Veintiún muestras contuvieron “extremadamente raros” ejemplares y siete fueron “extremadamente abundantes”, el resto de las muestras contuvieron especímenes entre “moderadamente abundantes” y “muy abundante”. Los cuatro conjuntos se alternaron a lo largo del núcleo dependiendo de la salinidad.

El núcleo 11, extraído aproximadamente a 300 m al este del núcleo 1 y el más corto de los tres (4.2 m de longitud), contuvo

recovered only sporadically from 7.4 to 15.2 m. Below 7.4 m, only two samples contained “abundant” ostracodes (at 12.0 and 13.8 m), both dominated by brackish-water and marine species. Twenty-five ostracode species were represented, ranging from fresh-water to marine species, but the population was dominated by brackish-water species. Twenty-one samples had extremely “rare” and seven had “extremely abundant” ostracodes, and the remainder of the samples contained “moderately abundant” to “very abundant” specimens. All four salinity assemblages alternated throughout the core.

Core 11, taken about 300 m east of core 1 and the shortest core at 4.2 m, contained a diverse and “abundant” fauna. Twenty-two species, ranging from fresh-water to marine indicators, were found in this core. Two samples contained extremely “rare” populations, ten had “very abundant” ostracodes, and the rest were “moderately abundant”. Fossil occurrence remained constant throughout the record, except for the interval between 1.2 and 1.8 m where no ostracodes were



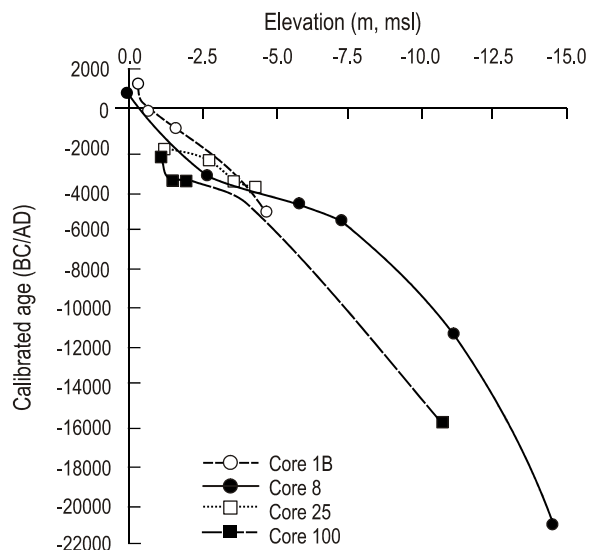


Figura 3. Tasas de sedimentación y edades calibradas para algunos núcleos seleccionados en el área de estudio.

Figure 3. Sedimentation rates and calibrated ages of selected cores in the study area.

una fauna diversa y abundante. En este sitio se encontraron 22 especies, las cuales variaron entre dulceacuícolas y marinas. Dos muestras contuvieron poblaciones “extremadamente raras” y diez fueron “muy abundantes”; el resto fueron “moderadamente abundantes”. La aparición de fósiles fue constante a lo largo del núcleo, excepto en el intervalo de 1.2 a 1.8 m en el cual no se recuperaron organismos. Una vez más, los cuatro conjuntos faunísticos se alternaron en este núcleo dependiendo de su tolerancia a la salinidad.

El núcleo 8, el más oriental de los tres, también contuvo una fauna de ostrácodos diversa y abundante, con más de 10,000 ejemplares recuperados a lo largo de la columna estratigráfica. En este núcleo se identificaron 29 especies entre dulceacuícolas y marinas. Siete muestras contuvieron “extremadamente raros” ejemplares y en dos muestras (6.6 y 8.0 m) fueron “extremadamente abundantes”. El resto de las muestras variaron entre poblaciones “raras” y “muy abundantes”. Varios intervalos no fueron fosilíferos (3.2–3.8, 5.4–5.6, 10.6, 11.4–11.6 m). Por debajo de los 12.0 m sólo tres muestras contuvieron ostrácodos entre “muy raros” y “extremadamente raros”. También en este núcleo aparecieron alternadamente los cuatro conjuntos faunísticos dependiendo de su tolerancia a la salinidad.

### Palinomorfos

El estado de preservación y continuidad estratigráfica fueron mejores en los núcleos 1 y 11; sin embargo, el núcleo 8 también resultó productivo. El espectro de polen en los tres núcleos estuvo dominado por el grupo *Chenopodiaceae-Amaranthus* y “Otras Compuestas”. Estas últimas son más abundantes en el sitio del núcleo 8, en tanto que las *Chenopodiaceae-Amaranthus* lo son en los núcleos 1 y 11 (fig. 5). La

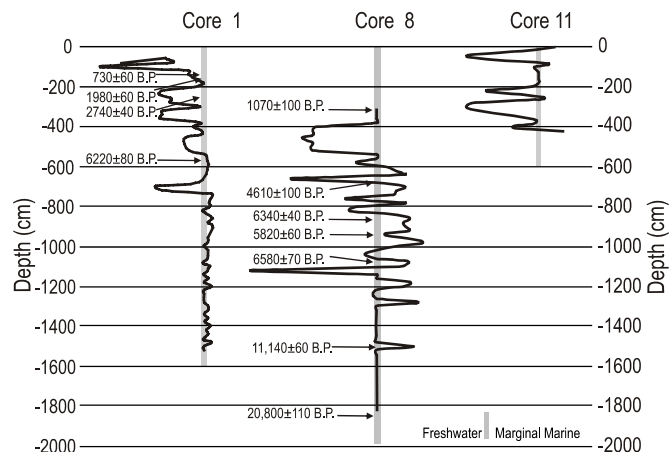


Figura 4. Curva paleoambiental de los ostrácodos.

Figure 4. Ostracode palaeoenvironmental trends.

recovered. All four salinity assemblages were present throughout the core.

Core 8, the easternmost core, contained a highly diverse and “abundant” ostracode fauna, with more than 10,000 organisms recovered from the stratigraphic column. Twenty-nine species were identified in this core, ranging from fresh-water to marine indicators. Seven samples had extremely “rare” ostracode occurrences, and two samples (6.6 and 8.0 m) had an extremely rich fauna. The remaining samples ranged from “rare” to “very abundant” populations. Several intervals did not contain ostracodes (3.2–3.8, 5.4–5.6, 10.6, 11.4–11.6 m). Below 12.0 m, only three samples had very “rare” to “extremely rare” ostracodes. All four salinity assemblages alternated throughout the core.

### Palynomorphs

Preservation was best and stratigraphic continuity greatest for cores 1 and 11, though core 8 was also productive. Pollen spectra in all three cores were dominated by *Chenopodiaceae-Amaranthus*, and “Other Compositae” pollen, with percentages of the latter greatest at the core 8 site and *Chenopodiaceae-Amaranthus* dominant in cores 1 and 11 (fig. 5). The pollen concentration, deterioration, and percentages were highly variable, with many samples nearly barren of pollen. This variability may have resulted from repeated wetting and drying cycles, rapid deposition of flood sediments, or both (Campbell and Campbell 1994).

Figure 5 shows considerable sample-to-sample variability in concentration, preservation, and percentages in cores 1, 11 and 8, respectively; however, long-term stability of the percentages of upland pollen types in core 8 contrasts with cores 1 and 11 (see fig. 5c). Not surprisingly, given their proximity, cores 1 and 11 show similar pollen percentage trends above 5 m, with pollen spectra dominated by local marsh vegetation: *Chenopodiaceae-Amaranthus* and “Other Compositae”; this is consistent with the findings of Mudie and Byrne (1980),

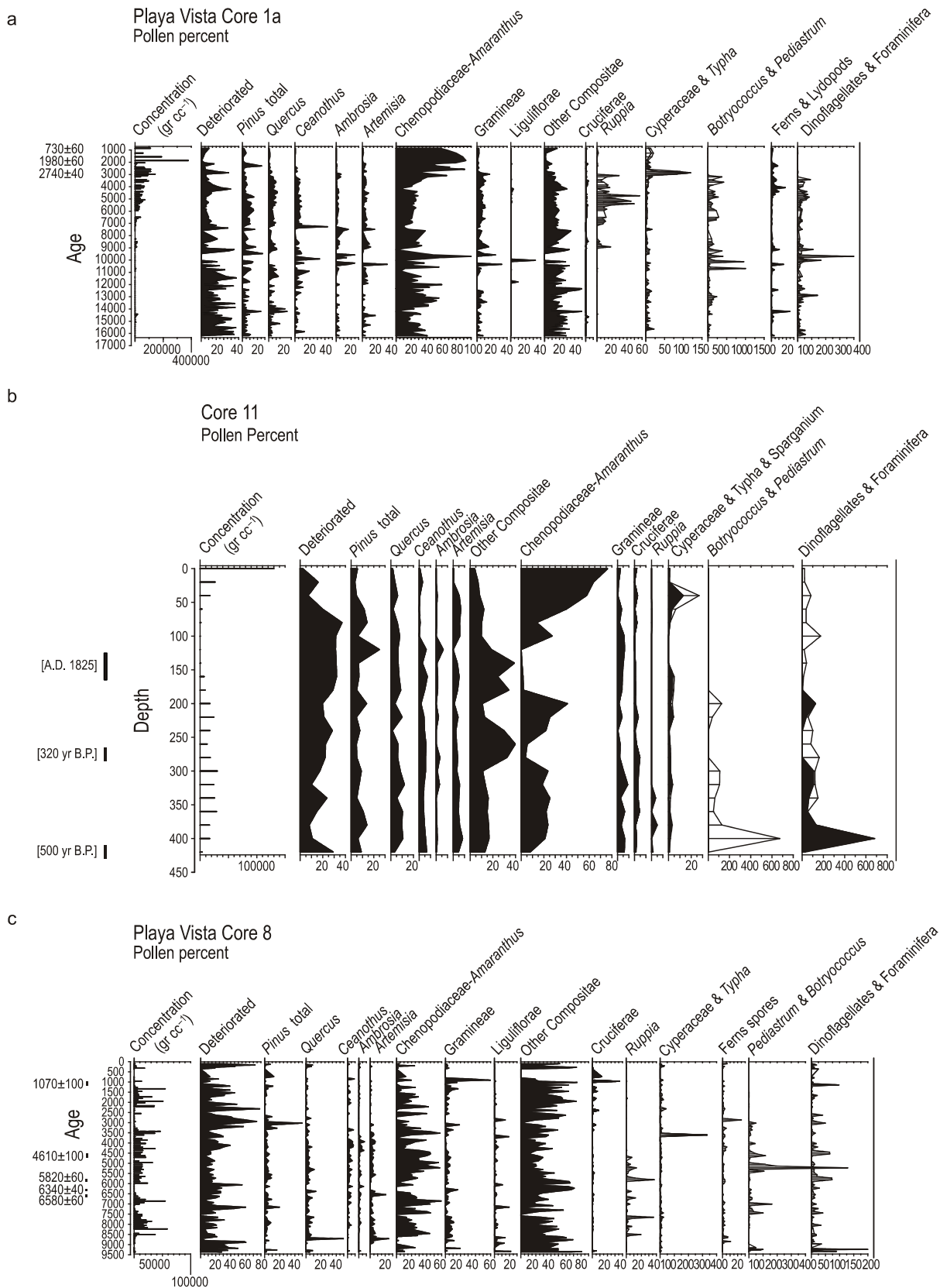


Figura 5. Diagramas de porcentajes palinomórficos de los núcleos (a) 1, (b) 11 y (c) 8 dentro del área de estudio.  
Figure 5. Palynomorph percentage diagrams of (a) core 1, (b) core 11, and (c) core 8 from the study area.

concentración de polen, su grado de deterioro y los porcentajes fueron muy variables; muchas muestras casi carecieron de polen. Esta variabilidad pudo ser el resultado de los frecuentes ciclos de humedad y sequía, deposición rápida de sedimentos procedentes de inundación, o ambos (Campbell y Campbell 1994).

La figura 5 muestra la considerable variabilidad en la concentración, preservación y porcentajes del polen entre las muestras en los núcleos 1, 11 y 8, respectivamente. Sin embargo, la estabilidad a largo plazo en los porcentajes de los tipos de polen terrestres en el núcleo 8 contrastan con los núcleos 1 y 11 (véase fig. 5c). No es de sorprender que dada la proximidad entre los núcleos 1 y 11, éstos muestren patrones similares en los porcentajes arriba de los 5 m de profundidad en los que el espectro de polen muestra estar dominado por vegetación del pantano local: Chenopodiaceae-*Amaranthus* y "Otras Compuestas". Este patrón es consistente con los resultados de Mudie y Byrne (1980), Davis (1992), Campbell (1992) y Byrne *et al.* (2001), en sitios similares a lo largo de la costa de California. *Pinus* (pino), *Quercus* (roble) y *Ceanothus* (lilas de California) fueron más abundantes 1 m más abajo, donde las Gramineae y Crucifera fueron abundantes. Se encontraron altos porcentajes de herbáceas (*Ambrosia*) cerca de la parte media del núcleo 11, siendo aún más abundantes en varios intervalos inferiores en los núcleos 1 y 8 donde las edades obtenidas van de los 3000 a los 5000 AP.

Los palinomorfos acuáticos indicadores de condiciones de cuenca abierta ya sea de hábitats dulceacuícolas o salinos fueron abundantes debajo de los 2 m en los núcleos 1 y 11. Los indicadores de aguas someras se presentaron por arriba de los 2 m. Se recuperaron muy escasos dinoflagelados y foraminíferos arriba de los 2 m, acompañados de espadaña (*Typha*), *Spartanium* (hierbas acuáticas de pantano) y Cyperaceae, especies todas exclusivas del periodo histórico. Otras especies de polen y algas indicadoras de condiciones de cuenca abierta aparecieron por debajo de los 3.2 m de profundidad (*Ruppia*, *Botryococcus* y *Pediastrum*). La presencia de *Ruppia* en el núcleo 8 indica que, en general, las pozas salinas fueron comunes en los alrededores de la laguna entre 8200 y 4200 AP, asimismo, la influencia marina está indicada por la presencia prolongada de dinoflagelados y foraminíferos.

El polen de especies exóticas y hierbas, como *Erodium cicutarium* y *Eucalyptus*, fue raro en los núcleos 1 y 11, pero fue más abundante en el núcleo 8. El indicador de perturbación más abundante fue Crucifera, una hierba nativa que se encuentra en bajos porcentajes en el periodo histórico, así como en el intervalo entre 2.5 y 3.8 m. Esta perturbación de la vegetación pudo haber resultado del uso que hicieron los nativos americanos de la laguna.

### Reconstrucción ambiental de la Laguna de Ballona

Este estudio demuestra que la Laguna de Ballona ha sido un recurso rico pero muy variable a través del tiempo. Conforme evolucionaron los límites de los humedales entre las

Davis (1992), Campbell (1992) and Byrne *et al.* (2001) in similar settings of coastal California. *Pinus* (pine), *Quercus* (oak), and *Ceanothus* (California lilacs) were more "abundant" below 1 m as were Gramineae and Cruciferae. High percentages of ragweed (*Ambrosia*) were found near the middle of core 11, but it was even more "abundant" in several lower intervals in cores 1 and 8 that were dated between 3000 and 5500 BP.

Aquatic palynomorphs, which are open-water indicators of fresh-water and saline habitats, were "abundant" below 2 m in cores 1 and 11. Shallow-water indicators were more "common" above 2 m. Very low dinoflagellate and foraminiferal values above 2 m, accompanied by high cattail (*Typha*), *Spartanium* (marsh or aquatic herbs) and Cyperaceae, are unique to the historic period. Pollen and algae from other open-water indicators (*Ruppia*, *Botryococcus*, and *Pediastrum*) increased below 3.2 m. The presence of *Ruppia* in core 8 indicates that saline pools were "common" in the general vicinity from 8200 to 4200 BP, and marine influence is indicated by the lasting presence of dinoflagellates and foraminifers.

The pollen of exotic plants and weeds, such as *Erodium cicutarium* and *Eucalyptus*, was "rare" in cores 1 and 11, but more "abundant" in core 8. The most "abundant" disturbance indicator—Cruciferae, a native weed—was found in low percentages during the historic period, as well as in the 2.5 to 3.8 m intervals. This may indicate intensive vegetation disturbance by Native Americans who utilized the lagoon.

### Palaeoenvironmental reconstruction of Ballona Lagoon

This study indicates that Ballona Lagoon was a rich but highly variable resource through time. As the boundaries of fresh-, brackish-, and salt-water wetlands evolved, salinity levels rose and fell; habitable landforms emerged, subsided, and were inundated. Plant and animal species emerged, flourished, and disappeared (Altschul *et al.* 1992b, Rosenthal and Hintzman 2003, Stoll *et al.* 2003). These changes were usually gradual, but catastrophic storms, floods, tsunamis, and earthquakes also affected the environment, which in turn affected human land use. Human adaptive response to the evolving lagoon and wetlands was also complex (Altschul *et al.* 1992b, Rosenthal and Hintzman 2003, Stoll *et al.* 2003). Placing environmental events in time reduces the number of interpretative variables and provides a contextual framework for the understanding of cultural deposits.

Our palaeoenvironmental reconstruction is based on stratigraphic, radiocarbon, and paleoecological (ostracodes and pollen) data obtained from three cores studied. About 200 cores were collected in the area. Most of these cores were collected from terrestrial environments in search of archaeological evidence. The cores' information was combined with observations and analysis of archaeological trenches, test excavations, and cores. These data were used to prepare a paleogeographic model for the last 7000 years (fig. 6). A major uncertainty in reconstructing the Holocene paleogeography is the extent to which subsidence has influenced the nature, elevation, and

condiciones dulceacuícolas, salobres y marinas, los niveles de salinidad aumentaron y declinaron; las tierras habitables emergieron, subsidieron y fueron inundadas. Igualmente, las especies de plantas y animales aparecieron, florecieron y desaparecieron (Altschul *et al.* 1992b, Stoll *et al.* 2003, Rosenthal y Hintzman 2003). Dichos cambios fueron generalmente graduales; sin embargo, tormentas catastróficas, inundaciones, tsunamis y terremotos también afectaron el ambiente, que a su vez afectó el uso de la tierra por los humanos. La respuesta adaptativa de los humanos a los cambiantes laguna y humedales también fue compleja (Altschul *et al.* 1992b, Stoll *et al.* 2003, Rosenthal y Hintzman 2003). Ubicar los eventos ambientales en el tiempo reduce el número de variables interpretativas y proporciona el contexto para comprender los depósitos culturales.

Nuestra reconstrucción ambiental está basada en datos estratigráficos, geocronológicos y paleoecológicos (ostrácodos y polen) obtenidos de los tres núcleos estudiados. Se recolectaron cerca de 200 núcleos en el área, la mayoría de ellos procedentes de ambientes terrestres en busca de evidencias arqueológicas. La información de los núcleos fue combinada con observaciones de campo y análisis de zanjas arqueológicas y excavaciones de prueba. Estos datos fueron utilizados para preparar un modelo paleogeográfico de los últimos 7000 años (fig. 6). El mayor problema en la reconstrucción de la paleogeografía del Holoceno es determinar la extensión que la subsidencia tuvo en la naturaleza, elevación y distribución de los depósitos marinos, estuarinos y de las planicies de inundación. La subsidencia pudo ser el resultado de la compactación causada por el desagüe y degasificación de los sedimentos y el tectonismo local, especialmente en los humedales, más que en los depósitos marinos o las planicies de inundación. Por lo tanto, los depósitos estuarinos hoy enterrados 15 m debajo del nivel del mar pudieron haberse depositado a 12 m o alrededor de esta elevación.

Al final del Pleistoceno, lo que hoy es la Laguna de Ballona era una zona costera abierta. Los sedimentos más profundos en los núcleos de la Laguna de Ballona incluyen arena y grava subyaciendo gruesos depósitos de limo y arcilla (Poland *et al.* 1952). Estos estratos son consistentes con arenas marinas formadas en el Océano Pacífico entre 15,000 y 7000 AP (Brevik *et al.* 1999). Este periodo se caracterizó por fluctuaciones globales en el nivel del mar asociadas a transgresiones regionales en el Océano Pacífico.

A los 7000 AP, el nivel del mar se hallaba aproximadamente 10 m por debajo de su nivel actual y posiblemente entre los 12 y 15 m por debajo (Porcasi *et al.* 1999). El Océano Pacífico estaba transgrediendo a lo largo de la costa y la planicie de inundación del sistema fluvial del Arroyo Ballona y el Río Los Ángeles. Este sistema de drenaje probablemente se bifurcó en numerosos tributarios entre los pantanos de agua dulce, en tanto que las marismas y las barreras de arena habrían caracterizado la interfase tierra-mar. No tenemos ninguna razón para suponer que el mar penetró más allá de la pequeña cuña estuarina mostrada en la figura 6 (7000 AP). La línea de

distribución de marine, estuarine, and floodplain deposits. Subsidence may be due to compaction caused by dewatering and degassing of sediment, especially in the wetlands, rather than marine and floodplain deposits, and locally to tectonism. Thus the estuarine deposits now found at 15 m below sea level may have been deposited originally at 12 m or so.

At the end of the Pleistocene, what is now known as Ballona Lagoon was an open marine coastline. Deep sediments in cores from Ballona Lagoon include sand and gravel overlain by thick silt and clay (Poland *et al.* 1959). These strata are consistent with marine sands formed by the Pacific Ocean between about 15,000 and 7,000 BP (Brevik *et al.* 1999). This period was typified by global fluctuations in sea level and regional transgression of the Pacific Ocean.

At 7000 BP, the sea level globally was about 10 m below present levels, and possibly 12 to 15 m below (Porcasi *et al.* 1999). The Pacific Ocean would still have been transgressing across the coastal/estuarine floodplain of the Ballona Creek/Los Angeles River system. This drainage system probably bifurcated into numerous distributaries among fresh-water marshes, while mudflats and sand bars would have characterized the land-sea interface. There is no reason to suppose that the sea penetrated any farther inland than the small estuarine wedge shown in figure 6 (7000 BP). The shoreline at 7000 BP was at least 500 m offshore and possibly more than 1 km from its present location. The Los Angeles River flowed into the estuary for much of the last interglacial/glacial cycle, as indicated by the massive submarine fan-delta of the coast. This does not exclude other outlets (i.e., to Long Beach) because the river is known to have changed course frequently during early historic times (Gumprecht 1999). The Ballona Bluffs were cut into the northern edge of the massive Pleistocene aeolian dune field that had accumulated downwind in response to the winnowing of the fan-delta and floodplain during the last glacial stage and perhaps earlier. Erosion of the bluffs was caused by the Los Angeles River being pushed against the south edge of its floodplain by its own distributary deposits, as occurred historically with the Los Angeles and Tujunga rivers in the San Fernando Valley. Marshy, vegetated areas rapidly developed in the eastern and southern portions of the bay, and these expanded with increased sedimentation (Brevik *et al.* 1999). Ostracode analysis from the lagoon reveals high sedimentation rates from about 6580 to 4600 BP (Palacios-Fest 2000).

By 5000 BP, the marine transgression was nearing its eustatic end, since the continental ice sheet had largely disappeared in response to global warming. Thus, it is reasonable to invoke a broad "Ballona Bay" at this time, with ocean waters covering the Los Angeles/Ballona Creek distributaries. Deep water at the coast, however, would have precluded the growth of extensive barriers at this time, although shoaling and subtidal bars were likely occurring just offshore of the present coastline because of the significant change in wave energy due to refraction. More likely, mid-bay bars and spits developed in "Ballona Bay" at the null point where seasonal fluvial processes were encountered by perennial wave and derived

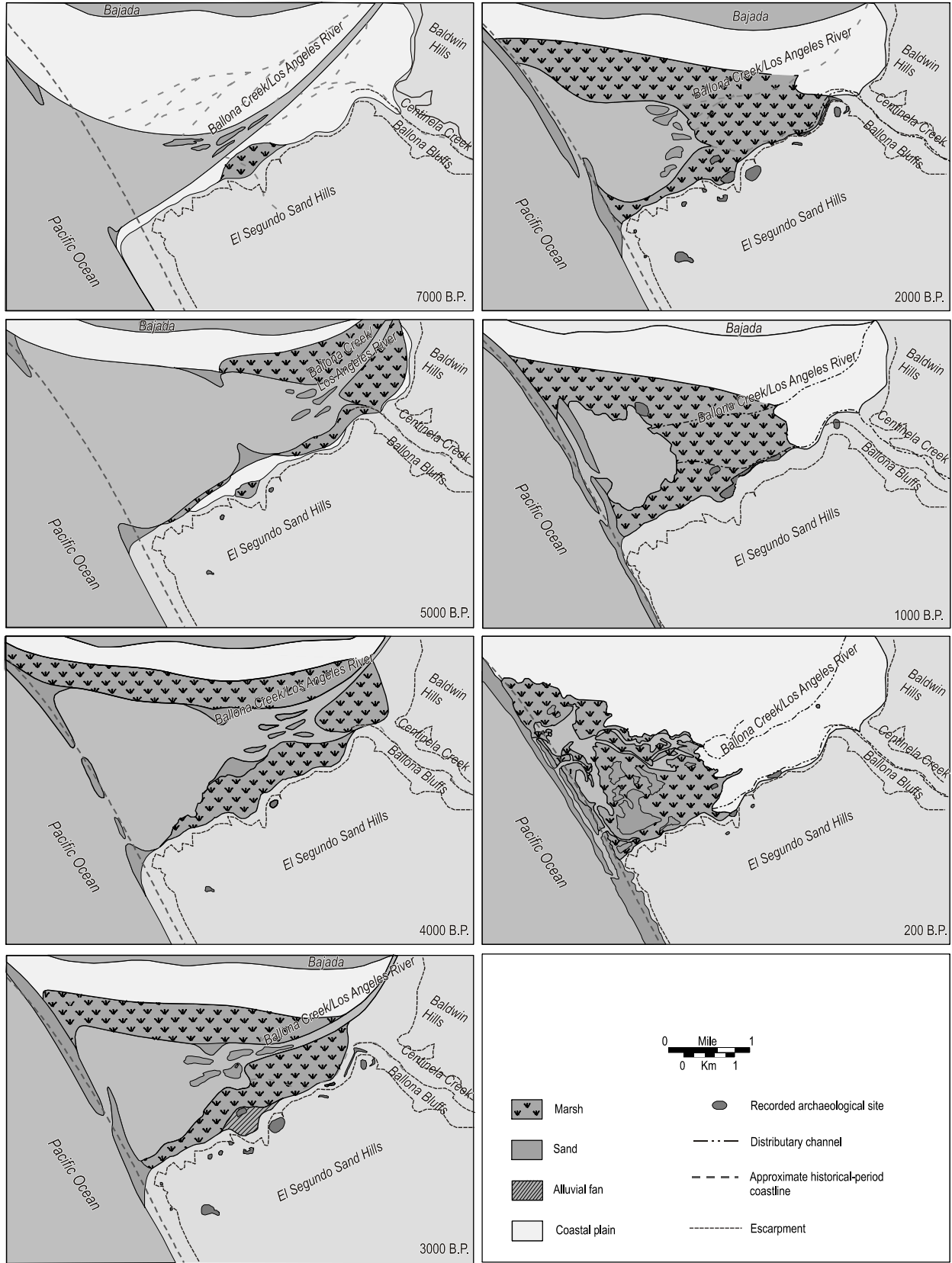


Figura 6. Reconstrucciones paleoambientales de la Laguna de Ballona en el tiempo utilizando secciones transversales y registros de fauna y flora.  
 Figure 6. Palaeoenvironmental reconstructions of Ballona Lagoon through time using cross-sections and faunal and floral records.

costa a los 7000 AP se encontraba al menos 500 m mar adentro y posiblemente hasta a 1 km de su posición actual. El Río Los Ángeles fluyó hacia el estuario durante gran parte del último ciclo interglacial/glacial, tal y como lo indica el masivo abanico aluvial submarino en la costa. Ello no excluye otras salidas (e.g., hacia Long Beach) ya que actualmente es bien conocido que el río ha cambiado su curso frecuentemente en tiempo histórico (Gumprecht 1999). Los Acanilados de Ballona fueron esculpidos en la margen norte de las dunas eólicas pleistocénicas masivas que se acumularon en la dirección del viento en respuesta a la erosión del abanico deltaico y la planicie de inundación, durante el último estadio glacial y posiblemente antes. La erosión de los acantilados fue causada por la desviación del Río Los Ángeles, que fuera empujado hacia el sur de su planicie de inundación por los mismos depósitos de sus tributarios, como sucedió históricamente con los ríos Los Ángeles y Tujunga en el Valle de San Fernando. Las áreas de vegetación pantanosa se desarrollaron rápidamente en las porciones oriental y sur de la bahía, expandiéndose conforme se incrementó la sedimentación (Brevik *et al.* 1999). El análisis de ostrácodos de la laguna revela una alta tasa de sedimentación entre 6580 y 4600 AP (Palacios-Fest 2000).

Hacia 5000 AP, la transgresión marina eustática se encontraba cerca de su final conforme la masa de hielo continental había desaparecido casi totalmente en respuesta al calentamiento global. Por lo tanto, es válido proponer una amplia "Bahía de Ballona" para ese tiempo, con la invasión de aguas oceánicas cubriendo los tributarios del Río Los Ángeles y el Arroyo Ballona. Las aguas profundas en la costa, sin embargo, pudieron haber impedido el crecimiento de barreras de arena extensas en este tiempo, aunque la formación de bancos de arena y barras sumergidas pudieron comenzar a formarse tan cerca como las márgenes de la línea de costa actual, como resultado del cambio significativo en la energía del oleaje debida a la refracción. Es posible que las barras de arena de media bahía y los bajos se hayan formado en la "Bahía de Ballona" en un momento neutro durante el cual los procesos fluviales estacionales se encontraron con el oleaje permanente dando lugar a corrientes en la parte exterior de la bahía. Se cuenta con escasa información para esta interpretación, más allá de observaciones en otras bahías, pero es significativo que la grava fluvial que subyace el acuífero de Ballona se elevó a cerca de 20 m de la superficie en esta localidad y pudo ser responsable de la formación de bajos. Estos sitios debieron favorecer a las comunidades de pescadores ya que representan pequeños bancos secos en medio del pantano, marismas y aguas abiertas (Altschul *et al.* 1992a, Stoll *et al.* 2003, Rosenthal y Hintzman 2003). La barra a media bahía cerca del sitio CA-LAN-61 pudo haber sido favorecida por el depósito del abanico aluvial. Los pantanos salinos cerca de la parte externa de la bahía probablemente tenían una extensión limitada en ese tiempo como lo indica la baja sedimentación que alcanzó las zona intermareal. La costa abierta aún se encontraba cerca de 100 a 200 m mar adentro de los acantilados ya que gran parte de la erosión de los mismos continuaba desde

current processes in the outer bay. We have little evidence for this, other than observations of such bays elsewhere, but it is significant that the underlying fluvial gravels in the Ballona aquifer rise to within 20 m of the surface in the location shown and could have provided a foundation for spit growth. Such sites were probably favored by fishing communities because they represented dry land amid marsh, mudflats, and open water (Altschul *et al.* 1992a, Stoll *et al.* 2003, Rosenthal and Hintzman 2003). The mid-bay bar near CA-LAN-61 may also have been favored by alluvial fan deposition. The salt marsh around the outer bay was probably limited in extent at this time because sedimentation reaching the intertidal zone would have been quite marginal. The open coastline was still probably 100 to 200 m seaward of the bluffs because much of the bluff erosion has continued since 5000 BP (fig. 6; 5000 BP), until they were stabilized by modern housing developments. The presence of oysters at  $6220 \pm 80$  BP at a depth of 4.7 m in core 1B reflects open estuarine conditions then in existence in the outer bay. Oysters were also found at shallow depths of 1.6 and 1.8 m in core 100 at  $4790 \pm 120$  BP. The presence of horn snail at a depth of 2 m and  $4900 \pm 140$  BP in core 61 indicates intertidal conditions here.

By about 4000 BP, the eustatic transgression had ended. The subsequent changes in the configuration of "Ballona Bay" were attributable to: (1) fluvial sediment inputs from the the Los Angeles/Ballona/Centinela Creeks that would have caused alluviation of the inner bay in the form of longitudinal middle ground (intertidal) bars and mudflats; (2) salt-marsh accretion in supratidal areas around the fringes of the outer bay, with mid-bay bars favoring leeward accretion; (3) marine/estuarine sedimentation in the outer bay, but still limited by the bay's broad dimensions such that intertidal sedimentation was essentially marginal; (4) growth of a nearly continuous beach spit-barrier across the mouth of the outer bay; (5) continued compaction and possible tectonic subsidence; and (6) hydro-isostatic depression of the coastal zone generally, and the shelf area in particular, with hydro-isostatic loading accounting for as much as 1 m/1000 years of subsidence relative to fixed inland datums (fig. 6; 4000 BP). Soon after 4000 BP, oyster and jackknife clams disappeared entirely from the bay and were replaced by horn snails. Horn snails are more tolerant of freshwater, so this shift marks a significant increase in freshwater inputs (Shelley 2001). A radical shift in the ostracode population also indicated this change, as a fresh-water ostracode assemblage replaced the marine assemblage at 4200 BP (Palacios-Fest 2000) (see fig. 4).

By 3000 BP, the inner bay that formed in response to the initial transgression would have been largely erased beneath intertidal deposits of sand and mud, thereby restricting open water to the former outer bay (fig. 6; 3000 BP). The coastal plain to the north expanded as supratidal fluvial (flood) and aeolian sediment accumulated and pushed the coastal plain/salt marsh interface southward. The salt marsh probably extended farther south from the north shore, as intertidal bars and mudflats extended westward from Ballona Creek. As in earlier

5000 AP (fig. 6; 5000 AP), hasta que fueron estabilizados para la construcción moderna de casas habitación. La presencia de ostiones en  $6220 \pm 80$  AP a una profundidad de 4.7 m en el núcleo 1 refleja las condiciones de estuario abierto prevalentes en esta parte de la bahía abierta. Estos organismos también fueron encontrados en las aguas someras a 1.6 y 1.8 m en el núcleo 100 hace  $4790 \pm 120$  AP. La presencia del caracol cornudo a una profundidad de 2 m y  $4900 \pm 140$  AP en el núcleo 61 indica condiciones intermareales.

Alrededor de 4000 AP, la transgresión eustática había concluido. Los cambios que siguieron en la configuración de la “Bahía de Ballona” son atribuibles a: (1) la contribución de sedimentos fluviales de los ríos Los Ángeles, Ballona y Centinela que pudieron haber causado la “aluviación” de la bahía interna en forma de barreras intermareales longitudinales y marismas; (2) la acreción de pantanos salinos en las áreas supramareales alrededor de las margenes externas de la bahía favoreciendo la formación de barreras por acreción a sotavento; (3) la sedimentación marino/estuarina en la bahía externa aún limitada por la extensión de la misma incluyendo la sedimentación intermareal que era esencialmente marginal; (4) el crecimiento casi continuo de barreras de playa a través de la bocana de la bahía externa; (5) la compactación continua y la posible subsidencia por tectonismo; y (6) la depresión hidroisostática general de la zona costera y en particular en el área de la plataforma continental en la que la carga hidroisostática contribuyó hasta 1m/1000 años de subsidencia en relación a los datums terrestres fijos (fig. 6; 4000 AP). Inmediatamente después de 4000 AP, los ostiones y las almejas navajas desaparecieron por completo de la bahía siendo reemplazadas por los caracoles cornudos. Éstos son más tolerantes al agua dulce, por lo que el cambio marca la creciente influencia fluvial a partir de este tiempo (Shelley 2001). Un cambio radical en la población de ostrácodos también apunta a este cambio ya que hacia 4200 AP la fauna de ostrácodos de agua dulce reemplaza a la preexistente fauna de afinidades marinas (Palacios-Fest 2000) (véase fig. 4).

Para 3000 AP, la bahía interna que se formara en respuesta a la transgresión inicial debió haber sido totalmente enterrada por debajo de los depósitos intermareales de arena y lodo, limitando con ello el acceso de aguas oceánicas a la antigua bahía externa (fig. 6; 3000 AP). La planicie costera al norte se extendió como resultado de la acumulación de sedimentos eólicos y fluviales supramareales (de inundación) que empujaron los pantanos salinos y la planicie costera hacia el sur. Es posible que los pantanos salinos se hayan extendido hacia el sur desde su localización al margen norte de la bahía conforme las barreras intermareales y las marismas se desplazaron al occidente del Arroyo Ballona. Como en ocasiones anteriores, gran parte de este escenario dependió de la importancia que haya tenido la descarga y el tipo de sedimentos provenientes del arroyo. Si en ese tiempo el arroyo aún recibía la descarga del Río Los Ángeles, aun si hubiera sido intermitentemente, las tasas de acreción y progradación de la línea costera, así como el retrabajamiento de los sedimentos durante inundaciones mayores,

times, much of this scenario would depend on the importance of discharge and sediment from Ballona Creek. If this creek still accommodated the Los Angeles River, at least intermittently, rates of accretion and shoreline progradation, as well as reworking during major floods, would have been much greater. If the creek did not receive Los Angeles River inputs, the area would have settled into a more passive state similar to that in historic times.

By 2000 BP, the coastal plain (supratidal fluvial and aeolian sediments) continued to encroach on the salt marsh along the northern margin. The salt marsh was somewhat more extensive, covering much of the bay beyond the north shore and at the creek mouths. The barrier and bluff shoreline on the open coast was probably still about 50 m seaward of the present. An extensive intertidal, unvegetated mudflat developed in the bay (lagoon). Fresh- and brackish-water ostracodes and fresh-water diatoms were dominant (Palacios-Fest 2000). The presence of clams, *Epilucina californica* and *Cryptomya californica*, indicate the end of the marine/estuarine transgression (fig. 6; 2000 BP). Also, *Chenopodiaceae-Amaranthus* and “Other Compositae” pollen concentrations become more consistent, but upland arboreal pollen (i.e., *Pinus*, *Quercus*) was erratic (see fig. 5).

By 1000 BP, salt-marsh islands and intertidal mudflats had become more extensive. The open coast shoreline was probably near its present location but, as earlier, there would have been perhaps a 100-m wide back-shore between the sea and the bluffs. A double barrier that is depicted later in historic maps (Chase 1861, 1893 US Coast Survey) is inferred to have formed by this time (fig. 6; 1000 BP). Double barriers are found along many coasts and they have different origins, including: (1) diversion drainage by a single encroaching barrier, (2) multiple barrier encroachment in sediment-rich environment, (3) floodwaters breaching an inner barrier but then diverted by a new barrier formed from the floodwater sediment, (4) subsidence, and (5) human interference. For the next millennium, increasingly high volumes of water flowing through the Ballona and Centinela Creeks led to accelerated sedimentation, the spread of marsh and wetland areas, and a corresponding decrease in the area of open water in the lagoon (Brevik *et al.* 1999). Pollen data indicate that, before 3000 BP, the abundant species were those that thrived in open, brackish water (i.e., *Ruppia*, *Botryococcus*, *Pediastrum*, dinoflagellates, and foraminifera), whereas after 3000 BP, shallow-water species such as cattail and tule (*Typha-Sparganium* and *Cyperaceae*) became more numerous (Davis 2000). At this time, fresh-water ostracodes and diatoms were dominant seaward. Terrestrial and brackish-water molluscs (i.e., *Cerithidea californica* and *Melampus olivaceus*) were “common” across the area.

The configuration of Ballona Lagoon was mapped in the 1893 US Coast Survey. By about 200 BP, sediments had filled much of the lagoon and a complex of sandy islands and extensive salt and fresh-water marshes developed throughout much

debieron haber sido mucho mayores. Si por el contrario, el arroyo no recibió la descarga del Río Los Ángeles, el área debió convertirse en un medio pasivo similar al observado en tiempos históricos.

Hacia 2000 AP, la planicie costera (sedimentos eólicos y fluviales supramareales) continuó invadiendo el pantano salino a lo largo de la margen norte de la cuenca. Este pantano era relativamente extenso, abarcaba gran parte de la bahía desde su extremo norte hasta las bocanas de los arroyos. Las barreras y los acantilados costeros se encontraban aún como a 50 m mar afuera de su posición actual. En este tiempo se formó en la bahía (laguna) una extensa marisma intermareal carente de vegetación. Ostrácodos y diatomeas de agua dulce y salobre dominaron el ambiente (Palacios-Fest 2000). La presencia de las almejas *Epilucina californica* y *Cryptomya californica* indica el final de la transgresión marino/estuarina (fig. 6; 2000 AP). Asimismo, las concentraciones de polen de *Chenopodiaceae-Amaranthus* y otras "Compuestas" fueron más constantes, pero la vegetación arborea terrestre (i.e., *Pinus*, *Quercus*) se hizo más errática (véase fig. 5).

Hacia 1000 AP, las islas en los pantanos salinos y los marismas intermareales se hicieron más extensos. La línea de costa abierta se encontraba posiblemente cerca de su posición actual pero, como antes, los acantilados debieron encontrarse aproximadamente a 100 m del mar. Inferimos que en este tiempo se forma una doble barrera registrada en los mapas históricos (Chase 1861, US Coast Survey 1893) (fig. 6; 1000 AP). Estas dobles barreras son comunes a lo largo de muchas costas y pueden tener distintos orígenes: (1) desviación del drenaje por la formación de una sola barrera; (2) invasión de barreras múltiples en un ambiente con abundantes sedimentos; (3) el agrietamiento por aguas de inundación que invaden una barrera interna y posteriormente son desviados a una nueva barrera formada por los sedimentos de estas corrientes; (4) subsidencia; e (5) interferencia humana. Durante este milenio el creciente volumen de agua descargada por los arroyos Ballona y Centinela dio lugar a una sedimentación acelerada y la expansión de los pantanos y humedales con la consecuente reducción en el área de aguas abiertas en la laguna (Brevik *et al.* 1999). Los datos de polen indican que, antes de 3000 AP, las especies más abundantes fueron las que se adaptaban a las condiciones de aguas abiertas o salobres (i.e., *Ruppia*, *Botryococcus*, *Pediastrum*, dinoflagelados y foraminíferos), mientras que después de entonces las especies de aguas someras tales como la espadaña y el tule (*Typha-Sparganium* y *Cyperaceae*) se hicieron más numerosas (Davis 2000). Para este tiempo, los ostrácodos de agua dulce y las diatomeas dominaron hacia la parte externa de la laguna. En toda el área fueron comunes moluscos terrestres y de aguas salobres (i.e., *Cerithidea californica* y *Melampus olivaceus*).

La configuración actual de la Laguna de Ballona fue mapeada en 1893 por el US Coast Survey. Hace aproximadamente 200 años, los sedimentos habían saturado gran parte de la laguna formando el complejo de islas arenosas y los

of the former lagoon (fig. 6; 200 BP). The north shore of the lagoon moved slightly southward as the coastal plain to the north continued to expand.

This paleogeographic reconstruction provides a model for explaining the evolution of cultural land-use patterns in the Ballona Lagoon area. Additional data is needed to further refine this model. Ideally, we need more subsurface evidence for the following: (1) the core 1B area should be penetrated deeper to determine the depth of the underlying fluvial gravels from the late Pleistocene landscape; (2) petroleum drilling logs should be retrieved to better define the entire late Pleistocene land surface; and (3) additional cores should be extracted from the northern part of the basin and another deep core from the basin center for paleontological analyses.

## Discussion

Figure 6 (200 BP) shows Ballona Lagoon as mapped by the US Coast Survey in 1861 (Chase 1861). This map depicts a lagoon, separated from the open ocean by a double barrier feature that had largely filled with sediment. It also shows several sandy "islands" that are higher and drier than the surrounding marsh. Because of their better drainage, these islands provided landforms for human use and wetland resource exploitation (Altschul *et al.* 1992a, Rosenthal and Hintzman 2003, Stoll *et al.* 2003). The Ballona and Centinela Creeks represent the primary fresh-water conduits to the lagoon, and the coastal plain developed over much of the former lagoonal expanse during the last 5000 years. The rapid infilling of Ballona Lagoon is not surprising, as lagoons and their associated wetlands are often short-lived features from a geologic perspective (Orme 1990, Bird 1994, Eisma 1998).

The barrier across Ballona Lagoon stayed in a relatively constant position during most of the last 7000 years, with the only noteworthy changes being shifts in the location and configuration of outlet channels. Our observation is consistent with worldwide records of decreasing relative sea level at this time (Lajoie *et al.* 1991, Gallagher 1996, Hori *et al.* 2003, McMillan *et al.* 2003, Moriwaki *et al.* 2003, Saito and Goodbred 2003, Tornqvist *et al.* 2003). Likewise, there was a shoreline present at about the location of core 209 from around 7000 BP until Centinela Creek moved westward past that position between 2000 and 3000 BP, depositing a large volume of sediment that infilled the lagoon in that area. Both of these observations seem indicative of dynamic equilibrium between local tectonic uplift and sea level rise after about 7000 BP, perhaps creating a situation similar to that observed by Kraft *et al.* (1980, 1982) on the Turkish coast over the last 3500 years. Ostracodes and pollen suggest that the marine transgression in our study area ceased by about 6200 BP, based on core 8 ostracode and pollen data, and an associated radiocarbon date from oyster (see figs. 4, 5). This fresh-water pulse correlates with a pulse recorded in core 1; however, the age of the event is unconstrained due to the lack of a stratigraphically lower radiocarbon date in the latter core. Equilibrium between uplift and



extensos pantanos salinos y dulceacuícolas que cubrieron la antigua laguna (fig. 6; 200 AP). La orilla norte de la laguna se desplazó ligeramente al sur conforme la planicie costera del norte continuó expandiéndose.

Esta reconstrucción paleogeográfica proporciona un modelo para explicar la evolución de los patrones de uso del suelo por los habitantes de la Laguna de Ballona. Se requieren mayores datos para afinar este modelo. Sería ideal contar con mayores evidencias subsuperficiales para: (1) alcanzar mayor profundidad en el núcleo 1B para determinar la profundidad de la grava fluvial subyacente de edad pleistocénica; (2) obtener los registros de perforación petrolera para definir en su totalidad la superficie terrestre durante el Pleistoceno tardío; y (3) obtener nuevos núcleos en la parte norte de la cuenca de la laguna y un nuevo núcleo profundo en el centro de la cuenca para análisis paleontológico.

## Discusión

La figura 6 (200 AP) muestra el mapa de la Laguna de Ballona preparado por el US Coast Survey en 1861 (Chase 1861). Dicho mapa presenta la laguna separada del océano por una doble barrera de sedimentos. Asimismo, documenta varias “islas” arenosas que se encuentran por arriba de los pantanos. Dado su mejor drenaje, estas islas dieron a los nativos la posibilidad de explotar recursos de los humedales y usar el suelo (Alstchul *et al.* 1992a, Stoll *et al.* 2003, Rosenthal y Hintzman 2003). Los arroyos Ballona y Centinela representan la fuente primaria de agua dulce a la laguna y la planicie costera permitiendo la configuración del área durante los últimos 5000 años. No es de sorprender el rápido relleno de la Laguna de Ballona; tanto las lagunas como los humedales asociados a éstas frecuentemente son rasgos geológicos de corto alcance (Orme 1990, Bird 1994, Eisma 1998).

La barrera a través de la Laguna de Ballona permaneció relativamente constante durante gran parte de los últimos 7000 años, periodo en el cual tuvieron lugar sólo algunos cambios en la localización y configuración de las desembocaduras de los drenajes. Nuestra observación es consistente con los registros alrededor del mundo del descenso relativo del nivel del mar (RSL por sus siglas en inglés) en aquel tiempo (Lajoie 1991, Gallagher 1996, Hori *et al.* 2003, McMillan *et al.* 2003, Moriwaki *et al.* 2003, Saito y Goodbred 2003, Tornqvist *et al.* 2003). Asimismo, existía una línea de costa cerca del núcleo 209 desde hace 7000 años y hasta que el Arroyo Centinela cambió su curso hacia el oeste hace aproximadamente 2000 a 3000 años, depositando una gran cantidad de sedimentos que rellenaron la cuenca de la laguna. Ambas observaciones coinciden en señalar un equilibrio dinámico entre el levantamiento tectónico y el ascenso del nivel del mar a partir de 7000 AP, posiblemente creando una situación similar a la propuesta por Kraft *et al.* (1980, 1982) para las costas de Turquía durante los últimos 3500 años. Con base en los datos de polen y ostrácodos del núcleo 8 así como los fechamientos del mismo, ostrácodos

sea level rise probably prolonged the life of Ballona Lagoon, as the lagoon was neither inundated by seawater nor drained.

Water in Ballona Lagoon varied in salinity throughout its history, alternating between marine and fresh. At times the lagoon was dominated by marine inputs or evaporation, which caused high salinity. At other times, discharge from the Ballona and Centinela Creeks dominated, leading to greater fresh-water inputs in the lagoon. Ostracodes and pollen provide additional information on the palaeoenvironmental conditions that were dominant at various stages of the lagoonal history. Each fossil group shows that salinity levels fluctuated in the lagoon. In general, the palaeoenvironmental studies show that marine conditions prevailed prior to 6200 BP in Ballona Lagoon. Between 6200 and 4000 BP marine influence persisted, interrupted by several fresh-water pulses, and a fresh-water environment dominated after about 4000 BP. After 4000 BP, the tidal channels were probably frequently blocked or filled in above sea level, which blocked fresh water from the Ballona and Centinela Creeks behind the barrier and diluted the salinity.

## Conclusions

In conclusion, it is uncommon to identify environmental trends as clear as the one in this study of Ballona Lagoon. Maynard and Biggs (1985) noted the importance of unifying deposition models and matching modern and ancient deposits. Through this analysis it was possible to reconstruct the long-term evolution of Ballona Lagoon from the late Pleistocene through the Holocene. Its stratigraphic reconstruction indicates a system that was probably in static equilibrium with sea level rise after about 7000 BP. Therefore, the lagoon's evolution was driven primarily by sediment infilling rather than sea level change. Sedimentation rates were higher near the mouths of the Ballona and Centinela Creeks and in the marshes along these creeks. This indicates that sediment deposition from overland drainage systems was largely responsible for lagoon infilling.

A relatively stable shoreline existed in the vicinity of core 209 (near the Lincoln-Jefferson intersection, fig. 1) for several millennia. This stable shoreline offered prehistoric human populations a strategic location for exploiting lagoonal resources, such as plants, shellfish and fish. Several sandy areas of higher ground existed in the marshes surrounding Ballona Lagoon, some of which were identified during this study and in recent archaeological excavations. These sandy islands were better drained than the surrounding wetlands, so these landforms were available for human occupation on at least a seasonal basis. When coupled with palaeoenvironmental studies based on microfossil and mollusc records, this stratigraphic reconstruction provides a powerful tool for interpreting landscape evolution and changing patterns of prehistoric human utilization of Ballona Lagoon.

Sea level rise, formation of a coastal barrier and lagoon, sedimentation, subsidence, and tectonic activity shaped the

y polen coinciden en mostrar que la transgresión marina cesó hacia aproximadamente 6200 AP (véanse figs. 4, 5). El área está sujeta a una incursión de agua dulce que se correlaciona bien con los pulsos registrados en el núcleo 1; sin embargo, la edad del evento es indefinida por la falta de fechamientos de radiocarbono en los niveles estratigráficos inferiores del último núcleo. El equilibrio entre el levantamiento tectónico y el ascenso en el nivel del mar probablemente prolongó la vida de la Laguna de Ballona, ya que ésta no estuvo sometida ni a inundaciones marinas ni a drenaje.

La salinidad del agua en la Laguna de Ballona ha sido variable a lo largo de su historia, alternando entre marina y dulceacuícola. En algunas ocasiones la laguna estuvo dominada por aportes marinos o evaporación, que causaron su salinización. En otras, en cambio, las descargas de los arroyos Ballona y Centinela fueron dominantes e indujeron un carácter más salobre a la laguna. Tanto los ostrácodos como el polen proporcionan información adicional para la reconstrucción de las condiciones paleoambientales que prevalecieron durante los varios estadios en la historia de la laguna. Cada grupo fósil muestra las fluctuaciones en el grado de salinización de la laguna. En general, los estudios paleoambientales en la Laguna de Ballona muestran que antes de 6200 AP dominaron las condiciones marinas. Entre 6200 y 4000 AP persistió la influencia marina, interrumpida varias veces por pulsos de agua dulce, en tanto que el ambiente dulceacuícola prevaleció a partir de 4000 AP. Es probable que desde 4000 AP los canales de marea hayan sido frecuentemente bloqueados o rellenados por arriba del nivel del mar, impidiendo así que el agua dulce de los arroyos Ballona y Centinela traspasara las barras de arena, diluyendo la laguna.

## Conclusiones

En conclusión, es poco común indentificar patrones de cambio ambiental tan claros como el obtenido en la Laguna de Ballona. Maynar y Biggs (1985) señalaron la importancia en la unificación de modelos de depositación y la analogía entre depósitos modernos y antiguos. Mediante el presente análisis ha sido posible reconstruir la evolución a largo plazo de la Laguna de Ballona desde el Pleistoceno tardío hasta el Holoceno. Su reconstrucción estratigráfica muestra un sistema probablemente en equilibrio estático con el ascenso en el nivel del mar desde los 7000 AP. Por lo tanto, la evolución de la laguna estuvo controlada principalmente por el relleno sedimentario más que por las fluctuaciones en el nivel del mar. Las tasas de sedimentación fueron más altas en las desembocaduras de los arroyos Ballona y Centinela y en los pantanos a lo largo de estos drenajes. Ello indica que la depositación de sedimentos desde los drenajes terrestres fue la principal responsable del relleno de la laguna.

En las inmediaciones del núcleo 209 (cerca de la intersección entre las avenidas Lincoln y Jefferson) se estableció una línea de costa relativamente estable por varios milenios. Dicha estabilidad ofreció a los pobladores prehistóricos una localidad

Ballona landscape, which in turn profoundly affected the distribution of landforms available for settlement and the subsistence resources available for human use. Recent and ongoing archaeological research at and around the Playa Vista project area will aid in refining this paleoenvironmental model. This model in turn will assist archaeological explanations of human adaptation through time in this dynamic setting.

## Acknowledgements

We thank Playa Capital Company for funding this research as part of the Playa Vista Archaeological and Historical Project. We also acknowledge the Army Corps of Engineers, the lead agency for section 106 compliance on this project. We are grateful to SRI archaeologists D Grenda, R Ciolek-Torrello, C Doolittle, B Vargas, K Becker, W Hayden, K Heidelberg, and A Stoll for their assistance in various aspects of the archaeological interpretations. We also thank C Tepley and M Mbila for assisting with the core descriptions, mineralogy, and micromorphology. Several of the figures were drafted by T Gust, T Hiatt and C Elsener-Hayward. An anonymous reviewer and N. Sheldon made significant contributions and suggestions to improve this work.

---

estratégica para la explotación de los recursos de la laguna, tales como plantas, moluscos y peces. Existieron varias zonas arenosas por arriba del nivel del mar en los pantanales alrededor de la Laguna de Ballona, algunas de las cuales fueron identificadas en este estudio así como en estudios arqueológicos recientes. Estas islas arenosas se encontraban mejor drenadas que los humedales circundantes, de tal manera que constituían superficies de tierra disponibles para la ocupación humana al menos estacionalmente. Al comparar este estudio paleoambiental basado en microfósiles con otros utilizando moluscos es posible elaborar una reconstrucción estratigráfica muy sólida para la interpretación de la evolución del panorama ambiental y los frecuentes cambios que afectaron la utilización humana de la Laguna de Ballona.

El ascenso en el nivel del mar, la formación de barreras costeras y la laguna, la sedimentación, la subsidencia y la actividad tectónica dieron forma a la Laguna de Ballona, que a su vez influyó decisivamente en la distribución de recursos disponibles para la colonización y subsistencia de poblaciones humanas. Los estudios recientes y otros en proceso en torno al área del proyecto Playa Vista proporcionarán mayor información para afinar el modelo paleoambiental presentado en este estudio. Este modelo, a su vez, ayudará a los arqueólogos a explicar la adaptación humana a través del tiempo en este sitio tan dinámico.

## Agradecimientos

Agradecemos a Playa Vista Capital Company el financiamiento de este estudio como parte del Proyecto Arqueológico e

Histórico de Playa Vista. Asimismo, agradecemos al Army Corps of Engineers, la agencia responsable de cumplir con la Sección 106 de este proyecto, por su apoyo. Estamos también en deuda con miembros de SRI tales como D Grenda, R Ciolek-Torrello, C Doolittle, B Vargas, K Becker, W Hayden, K Heidelberg y A Stoll por su asistencia en varios aspectos de las interpretaciones arqueológicas. C Tepley y M Mbila nos ayudaron en la descripción de los núcleos y los análisis mineralógicos y micromorfológicos. Por su parte, T Gust, T Hiett y C Elsener-Hayward elaboraron varias de las figuras. N Sheldon y un dictaminador anónimo hicieron contribuciones significativas a la mejora de este manuscrito.

## Referencias

- Altschul JH, Homburg JA, Ciolek-Torrello RS. 1992a. Life in the Ballona: Archaeological investigations at the Admiralty Site (CA-Lan-47) and the Channel Gateway Site (CA-Lan-1596h). *Stat. Res. Tech. Ser.* 33, Tucson.
- Altschul JH, Ciolek-Torrello RS, Homburg JA. 1992b. Late prehistoric change in the Ballona Wetland. In: Dallas H Jr, Breschini GS (eds.), *Archives of California Prehistory: Archaeological Investigations of some Significant Sites on the Central Coast of California*. Coyote Press, Salinas, California, pp. 89–107.
- Benson RH. 1959. Ecology of recent ostracodes of the Todos Santos Bay region, Baja California, Mexico. *Univ. Kansas Palaeontol. Contrib.* 1: 1–80.
- Benson RH, Kaesler RL. 1963. Recent marine and lagoonal ostracodes from the Estero de Tastiota region, Sonora, Mexico (northeastern Gulf of California). *Univ. Kansas Palaeontol. Contrib.* 3: 1–34.
- Bird ECF. 1994. Physical Setting and Geomorphology of Coastal Lagoons. In: Kjerfve B. (ed.), *Coastal Lagoon Processes*. Elsevier, Amsterdam, pp. 9–39.
- Brevik EC, Homburg JA, Tepley C. 1999. Stratigraphic reconstruction of the Ballona Lagoon. Manuscript on file, Statistical Research, Inc., 17 pp.
- Byrne R, Ingram BL, Starratt S, Malamud-Roam F, Collins JN, Conrad ME. 2001. Carbon-isotope, diatom, and pollen evidence for late Holocene salinity change in a brackish marsh in the San Francisco Estuary. *Quatern. Res.* 55: 66–76.
- Campbell ID. 1992. Formula and nomogram for estimating the number of regular patterned elements on the surface of a spheroidal microfossil. *Rev. Paleobot. Palynol.* 72: 165–167.
- Campbell ID, Campbell C. 1994. Pollen preservation: Experimental wet-dry cycles in saline and desalinated sediments. *Palynology* 18: 5–10.
- Chase AN. 1861. Untitled Map of Ballona Lagoon Area. US Coast Survey. On file, Library, University of California, Santa Barbara.
- Clifton HE. 1982. Estuarine deposits. In: Scholle PA, Spearing D. (eds.), *Sandstone Depositional Environments*. Mem. Am. Assoc. Pet. Geol. 31: 179–190.
- Davies JL. 1973. *Geographical Variation in Coastal Development*. Hafner Publishing Co., New York.
- Davis OK. 1992. Rapid climatic change in coastal southern California inferred from pollen analysis of San Joaquin Marsh. *Quatern. Res.* 37: 89–100.
- Davis OK. 2000. Pollen analysis of Playa Vista sediment cores, Los Angeles County, California. Manuscript on file, Statistical Research, Inc., 20 pp.
- Delorme LD. 1969. Ostracodes as Quaternary palaeoecological indicators. *Can. J. Earth Sci.* 6: 1471–1475.
- Delorme LD. 1989. Methods in Quaternary ecology. 7. Freshwater ostracodes. *Geosci. Can.* 16: 85–90.
- Eisma D. 1998. *Intertidal Deposits: River Mouths, Tidal Flats, and Coastal Lagoons*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Faegri K, Iversen J. 1975. *Textbook of Pollen Analysis*. Hafner, New York.
- Forester RM. 1988. Nonmarine calcareous microfossils sample preparation and data acquisition procedures. US Geological Survey Technical Procedure, HP-78, R1, pp. 1–9.
- Forester RM, Brouwers E. 1982. Palaeoenvironmental implications of some estuarine and non-marine ostracodes from Ridge Basin, southern California. In: Crowell JC, Link MH (eds.), *Geologic History of Ridge Basin, Southern California*. Pacific Section, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, pp. 239–246.
- Gallagher J. 1996. Late Holocene evolution of the Chorro Delta, Morro Bay, California. [http://digital.common.s.fau.edu/faculty\\_dissertations/AAI9622948/](http://digital.common.s.fau.edu/faculty_dissertations/AAI9622948/).
- Grant US, Sheppard WE. 1939. Some recent changes of elevation in the Los Angeles Basin. *Seismol. Soc. Am. Bull.* 29(2): 299–326.
- Gumprecht B. 1999. *The Los Angeles River: Its Life, Death, and Possible Rebirth. Creating the North American Landscape*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore and London, 369 pp.
- Hori K, Tabane S, Saito Y. 2003. Delta initiation and Holocene sea-level change: Example from the Song Hong (Red River) Delta, Vietnam. XVI INQUA Congress, Session No. 93 (posters), Reno, Nevada, July 30. Geological Society of America Abstracts with Programs, p. 241.
- Kraft JC, Kayan I, Erol O. 1980. Geomorphic reconstructions in the environs of Ancient Troy. *Science* 209: 776–782.
- Kraft JC, Kayan I, Erol O. 1982. Geology and palaeogeographic reconstructions of the vicinity of Troy. In: Rapp G, Gifford JA (eds.), *Troy, the Archaeological Geology*. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, pp. 11–41.
- Lajoie KR, Ponti DJ, Powell CL II, Matthieson SA, Sarna-Wojcicki AM. 1991. Emergent marine strandlines and associated sediments, coastal California: A record of Quaternary sea-level fluctuations, vertical tectonic movements, climatic changes, and coastal processes. In: Morrison RB (ed.), *Quaternary Nonglacial Geology: Conterminous US Geological Society of America, Boulder, Colorado, The Geology of North America, K-2*, pp. 190–203.
- Maynard MN, Biggs RB. 1985. Estuaries. In: Davis RA Jr. (ed.), *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, New York, pp. 77–173.
- McKenzie KG, Swain FM. 1967. Recent Ostracoda from Scammon Lagoon, Baja California. *J. Paleontol.* 41(2): 281–305.
- McMillan K, Vincent MW, Lopez WB. 2003. Holocene stratigraphy and timing of sea level on-lap, Huntington Beach, California. XVI INQUA Congress, Session No. 93 (posters), Reno, Nevada, July 30. Geological Society of America, p. 242.
- Moriwaki H, Chicamori M, Okuno M, Nakamura T. 2003. Mid and Late Holocene changes in sea level and shoreline on Rarotonga, Cook Islands. XVI INQUA Congress, Session No. 93 (posters), Reno, Nevada, July 30. Geological Society of America, p. 242.
- Mudie PJ, Byrne R. 1980. Pollen evidence for historic sedimentation rates in California coastal marshes. *Estuar. Coast. Mar. Sci.* 10: 305–316.
- Orme AR. 1990. Wetland morphology, hydrodynamics, and sedimentation. In: Williams M (ed.), *Wetlands: A Threatened Resource*. Blackwell, Oxford, England, pp. 42–94.
- Palacios-Fest MR. 1994. Trace element shell chemistry of continental ostracodes and the applicability of experimentally-derived multiple regression models to palaeoenvironmental reconstructions in southwestern North America. Ph.D. dissertation, University of Arizona, 279 pp.

- Palacios-Fest MR. 2000. Ostracode paleoecology from the Ballona Lagoon, California. Manuscript on file, Statistical Research, Inc.
- Poland JF, Garret AA, Sinnott A. 1959. Geology, hydrology and chemical character of ground waters in the Torrance-Santa Monica area, California. US Geological Survey Water Supply Paper No. 1461, Washington DC.
- Porcasi P, Porcasi JF, O'Neill C. 1999. Early Holocene coastlines of the California Bight: The Channel Islands as first visited by humans. *Pacific Coast Archaeol. Soc. Q.* 35(2-3): 1-24.
- Puri HS, Bonaduce G, Gervasio AM. 1969. Distribution of Ostracoda in the Mediterranean. In: Neale JW (ed.), *The Taxonomy, Morphology and Ecology of Recent Ostracoda*. Oliver and Boyd, Edinburgh, pp. 356-411.
- Rosenthal J, Hintzman M. 2003. Stone artifacts. Chapter 10. In: Altschul JH, Stoll AQ, Grenda DR, Ciolek-Torrello R (eds.), *At the Base of the Bluff: Archaeological Inventory and Evaluation along Lower Centinela Creek, Marina del Rey, California*. Playa Vista Monogr. Ser. Test Excavation Rep. 4: 219-241.
- Saito Y, Goodbred SL Jr. 2003. Holocene delta evolution in Asia: IGCP-475 DELTAMAP project. XVI INQUA Congress, Session No. 93 (posters), Reno, Nevada, July 30. Geological Society of America, p. 241.
- Shelley SD. 2001. Reconstruction of the development and use of the Ballona Lagoon using invertebrate faunal remains. Manuscript on file, Statistical Research, Inc., 34 pp.
- Stoll AQ, Douglass JG, Vargas BR. 2003. Cultural setting. Chapter 2. In: Altschul JH, Stoll AQ, Grenda DR, Ciolek-Torrello R. (eds.), *At the Base of the Bluff: Archaeological Inventory and Evaluation along Lower Centinela Creek, Marina del Rey, California*. Playa Vista Monogr. Ser. Test Excavation Rep. 4: 7-55.
- Stuiver M, Reimer PJ. 1993. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C Age calibration program. *Radiocarbon* 35(1): 215-230
- Stuiver M, Reimer PJ, Bard E, Beck JW, Burr GS, Hughen KA, Kromer B, McCormac G, van der Plicht J, Spurk M. 1998a. INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24000-0 cal BP. *Radiocarbon* 40(3): 1041-1083
- Stuiver M, Reimer PJ, Braziunas TF. 1998b. High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon* 40(3): 1127-1151
- Swain FM. 1967. Ostracoda from the Gulf of California. *Mem. Geol. Soc. Am.* 101: 139.
- Swain FM, Gilby JM. 1967. Recent Ostracoda from Corinto Bay, western Nicaragua, and their relationship to some other assemblages of the Pacific coast. *J. Paleontol.* 41(2): 306-334.
- Tornqvist TE, González JL, Newsom LE, Van der Borg K, De Jong AFM. 2003. Reconciling Holocene sea-level history on the US Gulf Coast: Is the Mississippi Delta the Rosetta Stone? XVI INQUA Congress, Session No. 93 (posters), Reno, Nevada, July 30. Geological Society of America, p. 242.
- Van Horn DM, Murray JR. 1985. The Loyola Marymount archaeological project: Salvage excavations at CA-LAN-61 A-C. Manuscript on file, South Central Coastal Archaeological Information Center, University of California Los Angeles.

*Recibido en mayo de 2005;  
aceptado en abril de 2006.*